النمذجة الخلوية في نظم المعلومات الجغرافية

GIS Modeling in Raster

تأليف

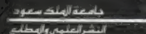
د. مايكل ديميرس

Michael N. Demers

ترجمة

أ. د. علي بن معاضه الغامدي







النمذجة الخلوية في نظم المعلومات الجغرافية

GIS Modeling in RASTER

تأليف

د. مايكل ديميرس

Michael N. DeMers

قسم الجغرافيا - جامعة ولاية نيو ميكسكو

ترجمة

أ.د. علي معاضه الغامدي

الأستاذ بقسم الجغرافيا - كلية الآداب - جامعة الملك سعود



النشر العلمي والمطابع - جامعة الملك سعود

ص.ب ٦٨٩٥٣ - الرياض ١١٥٣٧ - المملكة العربية السعودية

فهرسة مكتبة الملك فهد الوطنية أثناء النشر

ديميرس، مايكل

النمذجة الخلوية في نظم المعلومات الجغرافية/ مايكل ديميرس؛ علي معاضة الغامدي. - الرياض، ١٤٣١هـ.

٢٩٥ص، ٢١×٢٨سم

ردمك: ٥ - ٧١٧ - ٥٥ - ٩٩٦٠ - ٩٧٨

١- الجغرافيا - نظم المعلومات أ. الغامدي، علي معاضة (مترجم) ب. العنوان

ديوي ٩١٠,٢٨٥ ١٤٣١/٨٩٧٥

رقم الإيداع: ١٤٣١/٨٩٧٥

ردمك: ٥ - ٧١٧ - ٥٥ - ٩٩٦٠ - ٩٧٨

حكمت هذا الكتاب لجنة متخصصة، شكلها المجلس العلمي بالجامعة، وقد وافق المجلس العلمي على نشره - بعد اطلاعه على تقارير المحكمين - في اجتماعه الحادي عشر للعام الدراسي ١٤٣٠/١٤٣١هـ المعقود بتاريخ ١٤٣١/٢/٩هـ الموافق ٢٠١٠/١/٢٤م.

النشر العلمي والمطابع ١٤٣٢هـ

مقدمة المؤلف

لقد أصبحت النمذجة (Modeling) بنظم المعلومات الجغرافية أعظم نضجاً خلال العقدين الماضيين، فبعد أن كانت يوماً ذات أهدافاً فردية ووصفية، أصبحت الآن أكثر تعقيداً وتنظيماً ومتعددة الأهداف (Multi-objective). ويعد هذا نتيجة كبيرة للتطوير المتزايد الذي يتمتع به مستخدمو نظم المعلومات الجغرافية. يظهر منمذجو (صناع النماذج) نظم المعلومات الجغرافية اليوم إدراكاً متزايداً لقدرة البرامج على نمذجة مجموعة واسعة من مجالات التطبيق المتنوعة وحالات نمذجية مكانية معقدة. ومع الزيادة المطّردة في السرعة الحاسوبية، فإن توفر نظم معلومات جغرافية قوية – بالرغم من كلفتها غير العالية – ضمن نظم تشغيل حاسوبية مألوفة في الحواسب المكتبية، مع الزيادات الكبيرة في قدرات التخزين، يُتوقع أن يزيد من استخدام نظم المعلومات الجغرافية كأداة للنمذجة بوتيرة أسرع من السابق. وكما أن هذه الوتيرة تتسارع، فكذلك أيضاً الحاجة تزداد لإدراك المفاهيم الجغرافية الأساسية الكامنة وراء النمذجة بنظم المعلومات الجغرافية. في المقابل، كلما تعلمنا المزيد عن كيفية نجاح أو فشل تطبيق التقنية الحالية لهذه المفاهيم الجغرافية، كان هناك زيادة مصاحبة في الحاجة لأن نقيّم صلاحية مخرجات نموذجنا لصنع أو اتخاذ القرار. وفيما يتعلق بالأفراد الطموحين غير المكتفين بقبول قصور النماذج البسيطة، هناك رغبة لدفع التقنية خارج حدود واقعها الحالي من خلال تطوير خوارزميات (برمجيات) جديدة تحاكي العالم الحقيقي أكثر قرباً وواقعية.

ومن المؤسف أن كثيراً من منمذجي نظم المعلومات الجغرافية مضطرون لتعلم حرفتهم بقليل من التوجيه. وهذه في الحقيقة مشكلة خاصة لأولئك الذين اكتشفوا أداة نظم المعلومات الجغرافية في ميادين عملهم مؤخراً، وللعاملين الذين هم موظفون مسبقا لكنهم يفتقدون البيئة المنظمة التي من خلالها يصوغون مهامهم النمذجية. بالإضافة إلى ذلك، فإنه كلما زادت البرامج الدراسية الخاصة بنظم المعلومات الجغرافية في الخطط الدراسية الجامعية، زادت الحاجة إلى بيئة منظمة للنمذجة بهذه النظم في تلك المؤسسات الأكاديمية. يهدف هذا الكتاب إلى ملء هذين الفراغين التكامليين من خلال تقديم مادة علمية منظمة سهلة الفهم للدروس الجامعية في النمذجة بنظم المعلومات الجغرافية،

ومرجع مفيد للمحترفين التطبيقيين. يقدم الكتاب مناقشات وأسئلة وتمارين موسعة بحيث يمكن استخدامها من قبل المدرسين لتحسين العملية التعليمية أثناء الحصص الدراسية. أما فيما يتعلق بالعاملين المحترفين، فيوفر الكتاب أمثلة لمنهجية النمذجة مع شروحات مفصلة لبعض المواضيع المهمة مثل: اكتشاف الأنماط كأساس لتصوّر النماذج المكانية المحتملة؛ والجبر الخرائطي كواجهة مستخدم مألوفة في نظم المعلومات الجغرافية الخلوية (Raster GIS)؛ وصياغة النموذج؛ وتطبيقه والتحقق منه؛ وتراكيب النموذج الخلوي المتقدمة في النمذجة الديناميكية.

يمكن القول، لكل من يحاول أن ينفذ مهام نمذجية متقدمة بهذه النظم، أنه ليس لأي كتاب - أيا كانت جودته وإخراجه - أن يجعل منك منمذجا أفضل. لذا فهدف هذا الكتاب أن يوفر لك - مع مراعاة المكونات المكانية التي تشكل لبنات نماذج نظم المعلومات الجغرافية - تركيبا تستطيع من خلاله أن تنمذج، كما يوفر بعض الأبعاد المتعلقة بالمهام المألوفة التي يصادفها المنمذجون، بغض النظر عن مجالات خبراتهم. وباختصار، لقد قُصد بهذا الكتاب لأن يكون بمثابة رفيقا للمنمذج. ويقدم الكتاب، من خلال استخدام المصطلحات الحديثة، لغةً يتشارك فيها المنمذجون، كما يوضح أوجه التشابه في المهام النمذجية في مختلف المجالات، التي تساعد في فتح قنوات الاتصال بين العلوم. إنني أعتقد أن المزيد من الحوار البيني بين العلوم سوف ينتج نماذج نظم معلومات جغرافية أكثر وأفضل، وفهما أحسن لأهمية الجغرافيا والمفاهيم الجغرافية في منظومة التخصصات دائمة الاتساع. ولهذه الغاية، أرغب إليك أيها القارئ أن تناقش ما تقرأه في هذا الكتاب مع زملائك المنمذجين أو الطلاب. ولك أن تستخدم أسئلة المناقشة في نهاية الفصول لتنتج أسئلتك الخاصة. تعد الأمثلة التي قدمتها محدودة بخبرتي، لذا يجب ألا تكون نهائية، لكنها تعد بداية في عملية تعلم كيفية عمل النمذجة. سوف تساعدك مشاركة الآخرين لمهامك النمذجية سواء في الفصل أو العمل أو المؤتمرات في أن تكون أكثر عمقا وقدرةً وخبرةً في النمذجة بنظم المعلومات الجغرافية. إنني أتطلع إلى أن تشاركني بعض رؤاك بحيث يستطيع الطلاب أن يفيدوا من تحدياتك ونجاحاتك وإخفاقاتك وطرائقك ونماذجك.

المؤلف

شكر وتقدير

يتجاوز هذا الكتاب حدود قدراتي، فهو نتاج مجموعة كبيرة من فنيي الرسوم والإخراج والمحررين المحترفين في مؤسستي النشر: جون وايلي وأبناءه، وخدمات هيرمتاج للنشر. أقدم شكري للسيدة كارول كامبل لمساعدتها في إنتاج النسخ الأول لكثير من الرسومات. أيضاً، أنا ممتن للمراجعين الخارجيين الذين زودوني بكثير من الاقتراحات المفيدة. وبالرغم من أن خطط الإنتاج وجدولته قد حدّت من عدد الاقتراحات التي يمكن أن أضمنها في الكتاب، غير أنني أرجو أن تلاحظ بأني قد أخذتها جميعا في الاعتبار. لقد قررت - وكما هي عادتي - أن أنسب لهم الفضل في تحسين نوعية مسودة كتابي وأتحمل كامل المسؤولية لأي نقص أو خطأ في الكتاب. أشكر أيضاً معهد أبحاث النظم البيئية (ESRI) على توفيرهم لي البرنامج خلال إنتاج هذا العمل. وأخيراً، أقدم تقديري لطلابي في النمذجة بنظم المعلومات الجغرافية على تحملهم وملاحظاتهم البنّاءة طيلة المراحل العديدة التي مرّ بها إنتاج هذا العمل بهذه الشكل خلال السنوات العديدة السابقة.

مقدمة المترجم

بسم الله الرحمن الرحيم والصلاة والسلام على رسول الله.

وبعد

أحدثت التقنيات الجغرافية وفي مقدمتها نظم المعلومات الجغرافية ما يشبه الثورة في تحليل الواقع الجغرافي. بل خلقت مفاهيم جديدة، وشجّعت على إعادة النظر في المفاهيم السابقة، وقدّمت طرائق مختلفة جعلت من البيانات مادة معلوماتية أكثر عمقاً وإمتاعاً من السابق. ولا زالت في تطور مستمر. ولأن هذا الكتاب يعدّ كتاباً متميزاً في تناوله لنمذجة الظواهر الجغرافية بنظم المعلومات الجغرافية الخلوية (Raster GIS)، ومرجعاً مفيداً جداً للمهتمين بالنمذجة، أياً كانت مستوياتهم وخلفياتهم العلمية، فإني لم أجد أفضل منه لترجمته للعربية ليكون مرجعاً عربياً مهماً خاصة للباحثين والمطبقين في نظم المعلومات الجغرافية. إن قدرة النظم الجغرافية الخلوية تفوق بكثير النظم الخطية، ولعل هذا الكتاب بما شمله من معلومات أساسية وأمثلة متعددة يشجع الباحثين، خاصة طلاب وطالبات الدراسات العليا، في الوطن العربي بالذات في تطبيق نظم المعلومات الجغرافية الخلوية على نطاق واسع والاستعانة بهذه التقنية في حل كثير من المشكلات المرتبطة بالمكان.

لم أشأ أن أكرر ما بينه المؤلف في مقدمته وفي الفصل الأول حول تعريف وأهمية النمذجة الخلوية، فهما في نظري كافيان لتقديم صورة واضحة ومحفزة لقراءة هذا الكتاب، لذا أنصح القارئ أن يبدأ بهما ويقرأهما بتمعن. وسيجد القارئ في هذا الكتاب كثيراً من المعلومات المفيدة جداً، والخلفيات العلمية الأساسية التي قد لا يجدها بنفس العمق في أي كتاب آخر بنفس العنوان. فلقد ركّز الكتاب على النمذجة من جميع الجوانب مفهوماً وتطبيقاً، وبيّن بجلاء أن هدف عملية النمذجة هو أن تكون عوناً وأداة فعالة لصنع القرار، وهذا يعني أنها ستفيد صانع القرار متى ما اُستكملت جوانبها، والعكس صحيح. فبيّن المؤلف أساليب النمذجة وأنواعها وخطواتها وتسلسلها وأخيراً التحقق منها، بل بيّن كثيراً من مميزاتها، بالإضافة إلى السلبيات وأوجه القصور فيها.

أمّا ما يتعلق بمنهجية ترجمتي لهذا الكتاب فلاشك إنني لا أدعي أنها ترجمة مثالية، ولكني بذلت قصارى جهدي لأكثر من سنتين ونيف، لذا أتوجه بالشكر لله جل شأنه على إتمام هذا العمل، ثم أشكر كل من راجع هذا الكتاب شكراً عظيماً، خاصة ما يتصل بالتصحيح اللغوي. ولقد استخدمت العديد من المراجع اللغوية لتشمل قواميس ومعاجم اللغة ومعاجم المصطلحات الفنية العلمية والهندسية وغيرها، فترجمت المصطلحات بحذر كبير في ضوء قرائن الموضوعات والجمل والتراجم المألوفة للكثير من المصطلحات وخبرتي العلمية والعملية في موضوع النمذجة.

من المهم أن أشير إلى نوعية الترجمة التي طبقتها في هذا العمل. فلقد اجتهدت أن تكون الترجمة ترجمةً حرفيّة إلى حد ما، حتى أضمن وجود المعنى والصياغة الخاصتين بالكتاب كما أراده المؤلف، لكن بما يتلائم بالطبع والصياغة العربية. مرت عملية الترجمة بالعديد من المراجعات والتصويبات المتكررة، بما فيها تصويبات المحكمين. الأمر الآخر الذي يجدر الإشارة إليه، هو أنني لم أجد ترجمة حرفية لكلمة Raster تلائم المقصود منها في النص الأجنبي (الإنجليزي)، إذ ترد هذه الكلمة بمعانٍ متعددة تشترك في كلمة: مَسْح، أو خطوط المسح، وهذا غير المقصود منها في موضوع الكتاب الذي يعنى بتمثيل المكان ونمذجته في شكل شبكة من الخلايا (Cells). وعليه فقد رأيت أن كلمة خلويّ هي أقرب للمعنى المراد، حتى لو كان هناك كلمات أخرى في الكتاب تشبهها، وهذا حسب اجتهادي أفضل، بدلاً من ذكر كلمة مسح أو حتى وضعها بنفس النطق الأجنبي: راستر.

لقد قمت أيضاً بالاتصال بالمؤلف مرات عديدة وكنت أجد منه كل العون في ترجمة المعنى الذي يستحيل أن أجده أو أستنبطه من قاموس أو معجم أو حتى خبرتي الخاصة، ولقد كان في غاية التعاون والسعادة بذلك، فشكراً له على رحابة صدره وسرعة استجابته. وسأبقى طالب علم أستفيد من كل معلم.

وختاماً، أتوجه بخالص الشكر والتقدير لجامعة الملك سعود ممثلة في مركز الترجمة في إعطائي هذه الفرصة والدعم. كما أتقدم بالشكر والعرفان للعاملين في مطابع جامعة الملك سعود الذين كانو معنيين بإخراج هذا الكتاب بهذه الصورة الاحترافية، ثم أشكر كلّ من ساندني وفي مقدمتهم زوجتي وجميع أفراد أسرتي على تحملهم بعدي أثناء إعداد هذه الترجمة.

المترجم

المحتويات

الفصل الثالث: الجبر الخرائطي

الفصل الرابع: توصيف العمليات الوظيفية

الفصل الخامس: أسس النمذجة

الفصل السادس: تصوّر النموذج

الفصل السابع: صياغة النموذج، ورسم مخططات سير عمله، وتنفيذه

الفصل الثامن: حل التعارض والنمذجة الموصَّفة

الفصل التاسع: التحقق من دقة النموذج والتثبت من صلاحيته وقبوله

الفصل الأول

مقدمة
INTRODUCTION

أهداف تعليميّة

يُفترض أن يكون الطالب قادراً بعد إكمال هذا الفصل وتعزيز محتوياته بقراءات خارجية، وبالبحث وبالممارسة العمليّة على عمل ما يلي:

١- سرد خمس مهام توسّع تعريف نظم المعلومات الجغرافيّة ليتجاوز الحل البسيط للمشكلات الجغرافيّة.

٢- عدّ الأسباب الرئيسة للقصور في تطبيقات نظم المعلومات الجغرافيّة المؤسساتية.

٣- سرد خمسة مجالات علمية على الأقل يمكن أن تستفيد من تطبيق النمذجة الخلويّة بنظم المعلومات الجغرافيّة.

٤- وصف خمس مهام نمذجية على الأقل يمكن أن تحسن نوعية تطبيقات نظم المعلومات الجغرافيّة الحالية وفائدتها.

٥- تحديد مميزات البيانات الخلويّة وعيوبها مقارنةً بالبيانات الخطّيّة للنمذجة بنظم المعلومات الجغرافيّة.

دور النمذجة بنظم المعلومات الجغرافيّة

إن نظم المعلومات الجغرافيّة عبارة عن برامج حاسوبية صُممت خصيصا لكي تساعد في حل المشكلات الجغرافيّة، لكنّها أبعد من ذلك بكثير. إذ تؤتمت (Automate) هذه النظم المفاهيم الجغرافيّة المعروفة، وتوفر أدوات وتبريرات لصنع القرار الجغرافيّ، وتنتج شروحات للأنماط التوزيعية للإنسان والنبات والحيوان والأماكن وغيرها؛ كما أنها تتنبأ زمنياً بالتوزيعات الجديدة والتنظيمات المكانيّة. بل تتجاوز نظم المعلومات الجغرافيّة هذه المهمات الجوهرية لتصبح في يد المحلل المبتكر بمثابة معمل متميز لاستكشاف النظريّة الأساسية التي بُنيت عليها هذه النظم.

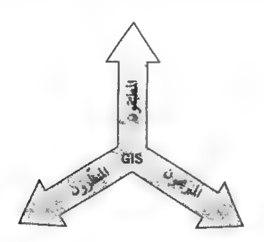
تساعد نظم المعلومات الجغرافيّة علماء الطبيعة والاجتماع في اختبار فرضيات قائمة من خلال القياس المفصل والتحليل والاستعراض البياني للأنماط والتي قد تفضي إلى استنتاجات زائفة أو مضللة إذا لم تستند على قدرة هذه النظم المتميزة في إعادة الإنشاء والدمج. وباختصار، تمنح نظم المعلومات الجغرافيّة الفرصة للمطبقين والمنظرين لأن ينتزعوا قطعاً كبيرة من سطح الأرض ويقلبوها في أيديهم. إذ تسمح هذه النظم لهم بالتجارب على عناصر ومكونات المظهر الطبيعي للأرض والنظر إليها مفصّلةً أو مجتمعة، واستبعاد ما هو زائد أو ما لا يريدون أن ينظروا إليه، أو أن يضيفوا عناصر جديدة أو معدلة لينظروا في أثر ذلك على المتغيرات الأخرى، وكل ذلك دون خوف من التبعات الخطيرة أو الكارثية التي لا يمكن إصلاحها، في كثير من الأحيان.

تقدم نظم المعلومات الجغرافيّة لنا - كما اقترح ديميرس (Demers, 2000a) - الفرصة لاكتشاف عالمنا بنفس الطريقة التي كان الجغرافيون والبيئيون والمستكشفون يتبعونها في الماضي، لكن بمجموعة أدوات أكثر دقة. بل والأكثر أهمية، هو أن نظم المعلومات الجغرافيّة الحديثة اليوم، لسهولة الحصول عليها وتميز قدراتها الحاسوبية المتقدمة وواجهاتها التفاعليّة المحسنة كثيراً، تسمح لعدد هائل من المهنيين التطبيقيين أن يشاركوا في هذا الاستكشاف.بالرغم من أن نظم المعلومات الجغرافيّة كانت متوفرة بشكل أو بآخر منذ الستينيات من القرن الميلادي الماضي - إلا أن فترة التسعينيات، وإلى الآن، استأثرت تقريباً بمعظم الزيادة السريعة في استخدام نظم المعلومات الجغرافيّة. وبالإضافة إلى التحسينات الكبيرة في التقنية، فإن أحد الأسباب الرئيسة لهذه الشعبية المتزايدة هو الإدراك المتعاظم من قبل العدد المتزايد من الخبراء في ميادين مختلفة لإمكانات البرامج في فحص ونمذجة العناصر الجغرافيّة لمشكلاتهم.

وتطول قائمة هؤلاء الخبراء حيث تشمل علماء البيئة، والصانعين للسياسات، والمحللين للجرائم، والمخططين الإقليميين أو الحضريين، ومهني الصحة، والمهندسين، والإستراتيجيين العسكريين، والمسّاحين، وأخصائي علوم البحار، والمهنيين الزراعيين، ومعماري المظهر الطبيعي الأرضي، والأكاديميين، وغيرهم الكثير. كما تطول قائمة التطبيقات الممكنة في واقع الأمر للأشخاص الذين يستخدمون أو يُحتمل أن يستخدموا تقنية نظم المعلومات الجغرافيّة والمفاهيم الجغرافيّة.

وعلى أي حال، فهم يشتركون جميعاً في شيء واحد، وهو الحاجة إلى فحص البيانات المتعلقة بميادين عملهم ورسمها، وجميعهم يبحثون عن إجابات لمشكلاتهم الجغرافيّة. يمكن أن تكون هذه المشكلات يسيرة ومتكررة ومجهدة حاسوبياً، أو قد تكون أكثر تعقيداً وفريدة ومتقنة حاسوبياً. فقد يصعب، في بعض الحالات، إيجاد حلول تامة ومباشرة للمشكلات؛ بسبب تعقيداتها وعظم حجم بياناتها وطبيعة حساسية قرينة تفاعلات عواملها مع بعضها. من ناحية أخرى، قد لا يوجد حلٌّ للمشكلات بنظم المعلومات الجغرافيّة؛ بسبب أنه لا توجد أسس نظرية لها، وفي هذه الحالة تصبح نظم المعلومات الجغرافيّة بمثابة مختبر ومعمل آليٍّ لصياغة واختبار الفرضيات.

تهدف نظم المعلومات الجغرافيّة أساساً إلى تحليل البيانات ذات المرجعية الجغرافيّة، سواء كان التوجه نحو تطبيق مفاهيم وبرمجيات نظم المعلومات الجغرافيّة الحالية، أو كانت هذه النظم موجهة نحو تطوير مفاهيم ونظريات جديدة، أو حتى نحو تطوير البرامج نفسها. يحدث التحليل غالباً في شكل نماذج منهجيّة تصوريّة للبيئة الطبيعيّة أو البشريّة التي يعمل فيها خبراء الميدان. فيمكن أن تُصمم هذه النماذج لدمج أو فصل البيانات المُمثّلة خرائطياً وذلك للتنبؤ بتوزيعات جديدة لهذه البيانات، وتحديد أفضل المواقع للأنشطة المختارة، أو لشرح نتائج الأنماط لمتغير واحد على نفسه، أو على متغيرات أخرى مُمثّلة. فإذا كنت متخصصاً في تطبيق ما، يجب عليك أن تتعلم كيف توظف هذه النماذج للحصول على حلول لمشكلاتك وتقدم تبريرات لصناع القرار. وإذا كنت منظّراً، فإنك سوف تبحث عن تفسيرات متكررة للأنماط، قابلة للقياس، مستعيناً بوسائل التبسيط والإيضاح ضمن قرينة النمذجة، وبهذا يتم توفير إطار لنماذج تطبيقية أكثر صحة وإحكاماً. وأخيراً، فإذا كنت مطوّر برامج فإنه يجب أن تكون قادراً على أن تنتج برنامجاً مرناً وقوياً يمكّن المتخصصين التطبيقيين والمنظّرين من تنفيذ مهامهم بكفاءة أفضل (الشكل رقم ١,١). يجب عليك في كل الأحوال أن تعرف كيف تنمذج بنظم المعلومات الجغرافيّة (الشكل رقم ١,٢). إن هذا أكبر بكثير من مجرد معرفة كل الأوامر في حزمة برنامج معين. فمعرفة أيّ الأوامر يجب تصديرها لبرنامج نظم المعلومات الجغرافيّة يعد أمراً مفيداً، لكن إذا لم تكن ملماً بكيفيّة صياغة النموذج قبل استخدام البرنامج، فالأرجح أنك سوف تنتج منتجاً قليل الفائدة. يشبه هذا حالتك مع برنامج كتابة النصوص الذي تتعامل معه بمهارة؛ فبالرغم من أن هذه المهارة مهمة - إلا أنها غير كافية لتجعلك قادراً على كتابة أفضل الروايات مبيعاً.



الشكل رقم (١,١). يخدم نظام المعلومات الجغرافيّة (GIS) المنظرين والمطبقين والمبرمجين على حد سواء. يعد فهم النمذجة بنظم المعلومات الجغرافيّة مهما للمطبقين الذين سوف ينشئون النماذج؛ والمنظرين الذين يطورون المفاهيم للنماذج الجديدة؛ والمبرمجين الذين يجب أن يكتبوا الأوامر البرمجية لجعل النماذج تعمل داخل نظام المعلومات الجغرافيّة.

عادةً ما تكون معظم المؤسسات في البداية محبطة من نظم المعلومات الجغرافيّة ؛ كونها ترى أن هذه النظم لا تضيف الكثير لأهدافها وغاياتها. ففي معظم هذه المؤسسات ، خاصةً عند بداية افتتاحهم على نظم المعلومات الجغرافيّة ، ينحصر الاهتمام على تخزين البيانات المكانيّة والمعلومات وإنتاج نفس البيانات على هيئة خرائط مطبوعة. هذا ، في معظم الأحيان ، ليس بسبب أن البرنامج لا يحتوي على الخوارزميات (البرمجيات) الضرورية لتنفيذ المهام المطلوبة ، بل لأن المطبقين لهذه البرامج لم يدركوا بعد قدراتها.



الشكل رقم (١,٢). عدد مستخدمي نظم المعلومات الجغرافيّة غير محدود. في بعض الأحيان، قد تشمل مجموعة واحدة من البيانات المكانيّة مجالاً واسعاً من المهام المختلفة، وهذا يتطلب أخذ الحيطة عند إنشاء مجموعات البيانات.

إدراك قدرات نظم المعلومات الجغرافيّة

تشترك جميع الأدوات في أن عدم فهم المهام المخصصة لها والقدرات التي تنفذها يحد من كفاءة استخدامها وعدد مرات الاستخدام مستقبلاً. فمثلما أن النجارين يحتاجون إلى أن يعرفوا كيف يستخدمون الأدوات المختلفة المناسبة للمواد المتنوعة في أوقات محدّدة ، فإن مهنيي نظم المعلومات الجغرافيّة يحتاجون إلى أن يعرفوا كيف تُطبق الأدوات المتوفرة في هذه النظم بأفضل ما يمكن. وإذا واصلنا المقارنة ، فالنجارين لن يستخدموا المنشار لقطع جزء أو حجم صغير ولن يستخدموا مثقاب الخشب لثقب صفيح معدني. فبالرغم من أن المنشار يمكن استخدامه في قطع الجزء الصغير – إلا أن القطع الناتج من المحتمل جداً ألا يكون مستقيماً أو متساوياً كما يجب. وبالمثل ، فلن يقطع مثقاب الخشب الصفيح المعدني بسهولة كما يقطعه مثقاب أو قاطع المعدن الذي صُمم لهذه المهمة. ونحن نقول ذلك

نتذكر كم تملّك معضمنا الإحباط في وقت أو آخر عندما كنا نحاول تنفيذ مهام أو أعمال سباكة يسيرة بمجموعة من المفكّات العادية بدلا من أدوات السباكة الملاءمة، وحتى لو أننا استطعنا أن ننجز في النهاية النتائج المطلوبة، فإن رغبتنا تتوانى غالباً مع تكرار هذه المهمات. يحدث مثل هذا الإحجام أو التردد في نظم المعلومات الجغرافيّة حتى مع المهام النمذجية اليسيرة إذا لم نكن مدركين أو مطلعين على الأدوات المتوفرة لدينا.

إن إدراك قدرات نظم المعلومات الجغرافيّة هو أكبر من مجرد الاعتراف بالقوة الحسابيّة للحاسوب أو البرمجيات المتوفرة في البرنامج. وفي الحقيقة، إن الأكثر أهمية، في كثير من الأحوال، هو الإلمام بالمهمة التي تريد أن تنفذها. ومثلما هو الحال مع أي حزمة من الأدوات، فإن مجرد عدد الأدوات المتاحة نفسها يكون، في الغالب، مرهقاً. وهذا هو الحال بالضبط مع نظم المعلومات الجغرافيّة، إذ أن البرمجيات والمنهجيات الجديدة تزداد وتتطور يومياً تقريباً. وإذا كنت، على أي حال، تعرف بالضبط ما تريد نمذجته، وما هي أنواع البيانات التي يجب استخدامها، وما هي المحصلة المطلوبة أو ما شكل النموذج الناتج، فستكون بذلك قادر على اختيار الطرائق والبرمجيات الملاءمة. ومن خلال التجربة الطويلة ومنهج التجربة والخطأ، قد تكون قادراً على أن تكابد حتى تكتشف مصادفةً ما الذي يعمل وما الذي لا يعمل؛ لكن لا يرغب معظمنا في الخوض في احتمالات لا نهائيّة تقريباً حتى يحصل في النهاية على المنهج الصحيح. إن هذه الطريقة غير فعالة ومن المحتمل أن تنتج نماذج إما ضعيفة، وإما غير صحيحة. وكما هو الحال مع النجارين أو السباكين الذين يمرون، في كثير من الأحوال، بمرحلة "مهرة –تحت – التدريب"، فإن التعلم من تجارب الآخرين الذين هم على دراية بتقنيات نظم المعلومات الجغرافيّة، وبالعمليّة النمذجية نفسها، سوف يقصّر منحنى التعلم، ويحسن قدراتنا، ويوفر لنا الثقة بالنفس التي نحتاجها لنكون منمذجين أكفاء.

فهم عمليّة النمذجة

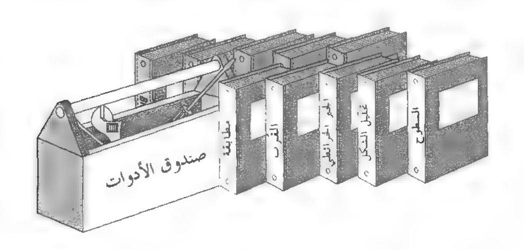
تُعتبر النمذجة بنظم المعلومات الجغرافيّة، كما يتضح من العنوان أعلاه، عمليّة (Process). وتتطلب هذه العمليّة طريقة مختلفة من التفكير تجاه العالم بخلاف ما تعود عليه معظمنا. فنحتاج أولا إلى أن نكون مدركين لكيفيّة تمثيل الواقع في نظم المعلومات الجغرافيّة. هذا مهم، خاصة في بيئة خلوية (Raster) نقسم فيها، عادةً، منطقة دراستنا إلى شبكة مربعات. والأكثر أهمية، على أي حال، هو أن عمليّة النمذجة تتطلب منا أن نفحص بياناتنا ونفكر فيما تتضمنه من العناصر المكانيّة. يعد هذا التفكير المكاني مهمّاً جداً للنمذجة بنظم المعلومات الجغرافيّة. لا يمكنني أن أوكد هذا الأمر بما فيه الكفاية. يجب علينا أولا قبل أن نستخدم مجموعة الأدوات الخاصة بالنمذجة المكانيّة أن نكون قادرين على أن نحدّد كيف نصوِّر أو نجرِّد الحيّز الجغرافي ليكون مُدخلات لاحقة في نظم المعلومات الجغرافيّة. يجب علينا، أيضاً، أن نكون مدركين للعلاقات المكانيّة المحتملة التي نبحث عنها، وعمّا يمكن – أو لا يمكن – أن تكشفه

لنا هذه العلاقات حول البيئة، وأن نكون على علم بكيفيّة حصرها وقياسها وتصنيفها وضمها لإنتاج نماذج ذات معنى بأفضل ما يمكن.

قد تكون هذه العمليّة مربكة إذا لم يكن لها تركيبٌ أو بناءٌ محدّد في بيئة العمل أو التشغيل. يبدأ هذا التركيب أولاً بتحديد ما يجب أن يقوم به نموذجنا وعليه نسأل أنفسنا أسئلة منها:

- هل أنا أقوم بإنشاء قاعدة بيانات تسمح لي بالاستعلام عن أنواع الأشياء أو أين توجد؟
- هل سيساعدني نموذجي في قياس نمط معين موجود بحيث أستطيع أن أفهمه أكثر؟
- هل يحاول نموذجي أن يفحص العلاقات المتعددة من خرائط مختلفة؟
- هل أنا أقوم بصنع نموذج لأبيّن كيف تتغير الأشياء زمنياً؟
- هل صُمم نموذجي للتنبؤ بشيء ما؟
- هل أنا أحاول أن أجد أفضل الأماكن أو المسارات أو البدائل لنشاط من نوع معين؟

لا نستطيع أن نملك العنصر الأكثر أهمية لنموذجنا إلا من خلال تحديد دقيق لما نريد قوله حول بياناتنا، سواء كنا نحاول أن نشرح فقط العلاقات الموجودة، أو نتنبأ بتبعات تلك العلاقات، أو نحدّد أفضل الحلول لأفضل الاستخدامات لبيئتنا. وبمجرد أن نعرف ما نريد من النموذج أن يُعلمنا، فإننا بذلك نملك الأساس في تحديد أيّ أنواع البيانات المطلوب جمعها لنموذجنا (موادنا الأساسية للبناء)، وبذلك نستطيع في البدء بإنشاء تصميم لكيفيّة ربط أجزاء النموذج مع بعضها (مخطط تفصيلي)، وسوف يساعدنا ذلك بدوره في إجادة تطبيق برمجيات نظم المعلومات الجغرافيّة (صندوق أدواتنا) لإنجاز المُخرج المطلوب (الشكل رقم ١,٣).



الشكل رقم (١,٣). يمكن النظر إلى نظم المعلومات الجغرافيّة على أنها صندوق أدوات به العديد من التقنيات المختلفة لطيف واسع من المهام البسيطة والمعقدة. وكما هو الحال مع الأدوات، فإنه من المهم معرفة الأداة المثلى للعمل مسبقاً.

لقد أثبت هذا المنهج نجاحه لطيف واسع من النماذج المعقدة، إذ يسمح لنا بأن نتعامل مع النموذج في شكل مجموعة من العناصر أو الوحدات المنفصلة (Modules)، كل منها سوف يُفحص بشكل مستقل على هيئة نموذج بسيط. ومتى ما كانت البيانات المطلوبة بحوزتنا، ولدينا المخطط التفصيلي والبرمجيات الملاءمة لكل عنصر، فسوف نربطها - عندئذ - في نموذج أكبر وأكثر تعقيداً لبيئتنا. إننا نستخدم بهذه الطريقة منهج " قسِّم وسيطر" في بناء النموذج، إذ أننا بهذه الطريقة نكون قادرين على تبسيط المشكلة بحيث لا تصبح مرهقة. كما نستطيع، أيضاً، أن نضيف مكونات فيما بعد إذا اكتشفنا أن هناك شيئا ما ناقصا. في الحقيقة، يلائم هذا المنهج التجزيئي (Modular) بشكل مثاليّ بناء النماذج التي يستمر تطورها مع استمرار تطور معرفتنا لبيئتنا. فمن خلال بناء وحدات صغيرة أو مجزأة يسيرة وسهلة الفهم تزداد ثقتنا في قدرتنا على استخدام أدوات نظم المعلومات الجغرافيّة بكفاءة. وتفضي هذه الثقة، في معظم الأحوال، إلى الرغبة في استخدام نظم المعلومات الجغرافيّة لمهام أكثر من مجرد تخزين الخرائط واسترجاعها.

لماذا النمذجة بنظم المعلومات الجغرافيّة الخلويّة؟

لابد أولا من التأكيد بوضوح على أن النمذجة بنظم المعلومات الجغرافيّة لا تقتصر على أنواع البيانات الخلويّة. ففي الحقيقة هناك العديد من النماذج الرائعة والمتطورة جدا منفّذة بالنموذج الخطي (Vector). هناك أشياء تستطيع نظم المعلومات الجغرافيّة أن تعملها، أيضاً، بالنموذج الخطي أفضل بكثير من النموذج الخلوي، خاصةً متى ما كان الأمر متعلقاً بالبيانات الشبكية (Network) والمضلّعيّة (مساحية) (DeMers, 2000a). لذا قد تسأل: لماذا نفحص النمذجة في نظم المعلومات الجغرافيّة بالنموذج الخلوي؟ ولعل أحد الأسباب تكمن في صعوبة مناقشة كل من النمذجة بالنموذج الخلوي والنموذج الخطي في آن واحد؛ إذ أن الخوارزميات التي تستخدم باستمرار تختلف بشكل كبير بين هذين التركيبين العامّين للبيانات، وهذا سينقص من الوضوح في المناقشة. ومن خلال توفر حزم نظم المعلومات الجغرافيّة الخطّيّة المكتبية الرخيصة ثمناً نسبياً، ونتيجة لتعرّف معظم الطلاب في بادئ الأمر على هذه النظم أثناء المداخل أو المقدمات لنظم المعلومات الجغرافيّة، فإن النمذجة الخلويّة عادةً ما تدرج في نهاية هذه المقررات الدراسيّة. وهذا بخلاف السابق عندما كانت الحزم الخلويّة الرخيصة، بالرغم من كونها غير تجارية، هي السائدة، في حين كان الوصول إلى الحزم الخطّيّة متعذراً؛ إما بسبب التعقيد، وإما لكلفتها العالية. هذه أسباب واقعية صرفة دفعت بأن يغطي هذا الكتاب النمذجة الخلويّة، فقط.

هناك، على أي حال، أسباب أخرى أدت إلى أن يغطي هذا الكتاب بوضوح النمذجة الخلويّة. فمع تزايد توفر حزم نظم المعلومات الجغرافيّة الخلويّة ذات النوعية العالية تجارياً وغير المكلفة، فقد حدثت، أيضاً، زيادة في قدراتها النمذجية. قارن إذا شئت حزمة التحليل الخرائطي (ماب) (MAP) الأصلية لتوملن (Tomlin, 1983) مع

منتجات الجيل الجديد (مثل: ArcGrid ؛ و ArcView Spatial Analyst ؛ و GRASS ؛ و Blackland ؛ و ERDAS Imagine Spatial Modeler ؛ و IDRISI ؛ و PC Raster (van Deursen, 1995)) ومجموعة أخرى. توفر هذه الحزم خوارزميات أكثر بكثير مما وفرته حزمة التحليل الخرائطي (ماب)، لتشمل، على سبيل المثال، قدرات الاستشعار عن بعد المتكاملة (مثل: GRASS و ERDAS Imagine Spatial Modeler)، والتطورات في وظائف الجوار والحاسبة الخرائطيّة (MapCalculator) (مثل: ArcGrid ؛ و ArcView Spatial Analyst ؛ و SPANS)، والنمذجة الحركية (الديناميكيّة) المباشرة (مثل: PC Raster ، Wesseling, et al., 1996)، ونمذجة حقيقية ثلاثية الأبعاد، وحتى المنطق الهدبي (Fuzzy logic) كما في برنامج IDRISI ، على سبيل المثال.

بالإضافة إلى الزيادة اليسيرة في القدرات التي تقدمها هذه المنتجات الخلويّة الجديدة مقارنةً بمثيلاتها السابقة، توفر تراكيب البيانات الخلويّة، أيضاً، مرونة إضافية لنمذجة السطوح (Surfaces) أبعد مما في النماذج الخطّيّة مثل الشبكة المثلثية غير المنتظمة (TIN). كما تمتلك نظم المعلومات الجغرافيّة الخلويّة خيارات وظيفية تحليلية أكبر بكثير من معظم مثيلاتها الخطّيّة (Vector GIS) للنمذجة البيئيّة التي تشمل وظائف مثل نمذجة التدفق المائي ونمذجة انتشار الحركة أو التنقل، وحتى نمذجة التطابق. وعندما يكون الهدف من تصميم النماذج متعلقاً بتمثيل الأحداث المتفشية أو المنتشرة، مثل تلك التي تشمل العوالق الترابية أو الحرائق أو نواقل الأمراض، فإن النظم الخلويّة تتميز، هنا، بقدرتها على التعامل مع هذه الأنواع من القضايا ذات الصِّبغة السطحية الغالبة. والسبب الآخر الذي يجعلنا نتناول النمذجة الخلويّة في نظم المعلومات الجغرافيّة هو الثورة التي حدثت في توفر البيانات الخلويّة، خاصة تلك المتوفرة من مجسات الاستشعار الفضائية والجوية. وتعد هذه الأنواع من البيانات ملاءمة جدا للمهام المتصلة بمراقبة المناطق الكبيرة ولتحديث البيانات المتوفرة.

إن زيادة درجة الوضوح وتناقص التكلفة لبيانات الاستشعار عن بعد يجعلان الأمر أكثر جاذبية لضم برمجيات معالجة المرئيات والصور مع برمجيات نظم المعلومات الجغرافيّة الخلويّة لإنتاج مجموعة من التقنيات التي توسّع قدرات كلا النوعين من حزم البرامج. هذا، أيضاً، يفسر لماذا تعاون مصنعو برامج نظم المعلومات الجغرافيّة ونظم الاستشعار عن بعد لجعل تراكيب بياناتهم متوافقة (انظر على سبيل المثال: ArcView Image Analyst). وهناك سبب آخر وجيه للتركيز على النمذجة الخلويّة وهو أن لب إطار النمذجة بنظم المعلومات الجغرافيّة والمسمى بالنمذجة الخرائطيّة (Berry, 1993; Tomlin, 1991) الذي أصبح منهجيّة قياسية، قد طُبق أول مرة داخل نظام معلومات جغرافيّة خلوي وهو حزمة التحليل الخرائطي – ماب (MAP).

وتعد هذه المنهجيّة أكثر المنهجيات شيوعاً لأن هذا البرنامج (ماب) يُعد تقريبا نموذج نظم المعلومات الجغرافيّة المتوفر الوحيد الأكثر اتّباعاً. ولقد تبنّت التطورات الحديثة في برامج نظم المعلومات الجغرافيّة الخلويّة هذه المنهجيّة القياسية بشكل متكرر بالإضافة إلى مصطلحاتها. ولأن الدراسات المنشورة زاخرة بمصطلحات منهجيّة النمذجة

الخرائطيّة، وأصبحت هي الأفضل في المعايير والتطبيقات عند عامة المنمذجين بنظم المعلومات الجغرافيّة، فإنه من المفيد عملياً والأنفع أن نستخدمها هنا.

حول ماذا يدور هذا الكتاب

إن هذا الكتاب، إذن، هو حول النمذجة الخرائطيّة، إذ سوف يساعدك على فهم مصطلحات النمذجة الخرائطيّة ومدلولاتها. هذا بالإضافة إلى أنه سيأخذك بالتدرج عبر العمليّة الكاملة للنمذجة الخرائطيّة. لكنه يظل أكثر من مجرد كتاب مرجعي في النمذجة الخرائطيّة. فبالرغم من أن النمذجة الخرائطيّة تعد في صميم النمذجة بنظم المعلومات الجغرافيّة – إلا أنها لا تمنع إضافة التقنيات الأخرى التي لا تعد، في الغالب، جزءاً من مجالها. سوف نفحص مجموعة عامة من تقنيات النمذجة في نظم المعلومات الجغرافيّة وفي غيرها، وسننظر في الأنواع المختلفة من نماذج البيانات الخلويّة في نظم المعلومات الجغرافيّة مثلما تُطبّق في النمذجة، وسنبحث في المواضيع التي عادةً ما تُعتبر بأنها ذات ارتباط ضعيف بالنمذجة الخرائطيّة.

وسوف نبحث على وجه الخصوص وبالتفصيل في طرائق النمذجة بنظم المعلومات الجغرافيّة الخلويّة (Raster GIS)، بدءاً بتحديد مشكلتنا مكانياً، واختيار نماذج البيانات الخلويّة الملاءمة، وتحديد التقنيات التكامليّة التي تساعدنا خلال عمليّة النمذجة. سوف نبحث في أنواع مختلفة من نماذج نظم المعلومات الجغرافيّة بهدف إعطائنا الفرصة لنصبح واثقين من اختيار المنهج الأمثل لكل نوع. وسنقضي وقتاً طويلاً مع كل نوع لتحديد عناصر النموذج وتخطيط سير عمله بحيث نصبح مطمئنين للمنهج التجزيئي (Modular) الذي نتبعه.

ولن يقتصر عملنا على بناء النماذج فقط، بل سنختبر مسألة تنفيذها. هذا يعني أننا سنرى فعلياً ماذا يحدث عندما نشغّل النموذج الذي أنشأناه. سوف يسمح لنا هذا بالتحقق من أن النموذج يعمل حسابياً وتصورياً وفق الطريقة التي يجب أن يعمل بها. سيتطلب التحقق من النموذج أن نبحث عن إمكانية قبول المستخدم المحتمَل لنماذجنا. وبعد ذلك، سوف نناقش الطرائق المتوفرة لنا لتقرير صلاحية نموذجنا، بدءاً من الحساب العكسي وصولاً إلى آراء الخبراء واستخدام بيانات تقدير الصلاحية.

وسوف تشمل مواضيع النمذجة الإضافية تطبيقاً لحل التعارض، خاصةً عندما يوجد تعارضات مكانيّة ضمن نموذج نظم المعلومات الجغرافيّة. إن هذه التقنيات ستعطينا بعض الأفكار العميقة عن كيفيّة استخدام نظام المعلومات الجغرافيّة فعلياً، وكيف يمكن تناول التعارضات المكانيّة الناتجة من الطلبات الملحة على الموارد الأرضية المحدودة أثناء العمل مع نظام المعلومات الجغرافيّة.

وسيبحث هذا الكتاب، أيضاً، في فكرة الزمن في نظم المعلومات الجغرافيّة على المستويين التصوّري والتطبيقي. وبالرغم من أن معظم نماذج البيانات الخلويّة في نظم المعلومات الجغرافيّة لا تُضمّن عنصر الزمن فيها

بشكل صريح – إلا أنه يمكن معالجته. وسننظر في بعض المناهج الخلويّة غير التقليديّة الخاصة بالنمذجة الزمانيّة المكانيّة. وسنذهب إلى أبعد من مواضيع النمذجة هذه، فنخصص بعض الوقت لأساليب منطقيّة بديلة، خصوصاً تطبيق المنطق الهدبي (Fuzzy Logic) في النمذجة الخلويّة في نظم المعلومات الجغرافيّة؛ إذ تستلزم مثل هذه المواضيع الأكاديمية بأن نذهب إلى أبعد من شريط أدوات التحكم في نظم المعلومات الجغرافيّة. وسيقدم هذا الكتاب بحثاً مختصراً للجغرافيا الحاسوبية من منظور برمجة الحاسب باستخدام التعليمات أو الأوامر البرمجية (Macros)، ومن منظور المحلل المكاني الذي يرى أن هناك مشكلات لم يتم تناولها سواء من قبل المنمذج أو المبرمج في نظم المعلومات الجغرافيّة.

وإدراكاً بأن هذا الكتاب سوف يكون له على الأرجح جمهوراً واسعاً، فإن لك الحرية في اختيار المواضيع التي تهمك، خاصةً المتقدمة منها. وقد لا يكون لدى الممَارسين لنظم المعلومات الجغرافيّة، على سبيل المثال، الرغبة في البرمجة، لكن باستطاعتهم التركيز أكثر على الفصول الخاصة بالنمذجة. أما أولئك الذين لديهم اطلاع على تراكيب البيانات الخلويّة المختلفة فلهم أن يبدأوا مباشرةً بقراءة الفصل الثاني بتمعن. وبكلمة أخرى، إن لك الحرية، أن تتبع المنهج التجزيئي في قراءة هذا الكتاب، على غرار النمذجة بنظم المعلومات الجغرافيّة نفسها.

مراجعة الفصل

تُؤتمت (Automate) نظم المعلومات الجغرافيّة المفاهيم الجغرافيّة وتساعد في صنع القرار، وفي شرح التوزيعات، وتستطيع أن تساعد في صياغة الفرضيات واختبارها. ويمكن تطبيق هذه المهام لطيف واسع من الممَارسين والمنظرين وذلك لمساعدتهم في معالجة أجزاء من الأرض التي تُخزّن على هيئة بيانات خرائطية في الحاسب. إن الشعبيّة الحاليّة لنظم المعلومات الجغرافيّة تكمن في علاقتها بمجموعة كبيرة من المجالات التي يمكن تطبيق هذه النظم فيها، وفي قدرتها على أتمتة المهام المتكررة المبنيّة على الخرائط حتى لو كانت يسيرة، هذا بالإضافة إلى المهام الأكثر تعقيداً.

إن أحد الأسباب الرئيسة التي عادةً ما تقود المؤسسات إلى الإحباط من نظم المعلومات الجغرافيّة هو افتقارها إلى الفهم العميق لقدرات النمذجة في هذه النظم، ومسألة قابلية بياناتها للنماذج المكانيّة. إن الخطوة الأولى المهمة هي أن يُنظر إلى نماذج نظم المعلومات الجغرافيّة في شكل وحدات تجزيئية (Modules)، بحيث يمكن ضم النماذج اليسيرة إلى بعضها لتصبح أكبر وأكثر تعقيداً؛ ذلك أن الواحد غالباً ما يبدأ أولاً بتحديد الأسئلة المطلوبة من نظم المعلومات الجغرافيّة. سيساعدنا هذا في فهم طبيعة المنتج النهائيّ الذي نريد أن ننتجه. ومن خلال العمل بهذا الاتجاه العكسي، نستطيع أن نحلل النموذج إلى عناصره الأساسية، وكل عنصر أو مكون يُعزل – عندئذ – إلى البيانات المطلوبة التي نحتاجها لبناء نموذجنا.

وبالرغم من أن نمذجة نظم المعلومات الجغرافيّة متوفرة لتراكيب البيانات الخلويّة والخطّيّة - إلا أننا سوف نبحث حصرياً في النمذجة الخلويّة، لنتجنب جزئياً تعقيد البحث في النماذج الخطّيّة والخلويّة في آن واحد. هذا بالإضافة إلى سهولة توفر البيانات الخلويّة، وسهولة التطبيق للمصطلحات وللطرائق التقليديّة المتبعة في النمذجة الخلويّة المتداولة، والقدرة على نمذجة السطوح بشكل ملائم بالنموذج الخلوي، وبسبب توفر الكثير من حزم نظم المعلومات الجغرافيّة الخلويّة ذات الكفاءة المهنية العالية.

يركز هذا الكتاب على النمذجة الخرائطيّة، لكنه يشمل أكثر من ذلك؛ حيث يتضمن أنواعاً مختلفة من البيانات الخلويّة، والصلات مع النمذجة بغير نظم المعلومات الجغرافيّة، ويبيّن كيف أن النمذجة بنظم المعلومات الجغرافيّة تستطيع في النهاية أن تقود المستخدم لما وراء القدرات المحدودة للبرامج الموجودة إلى النمذجة بالتعليمات أو الأوامر البرمجية. يركز الكتاب بشكل أساسي على التحليل والنمذجة المكانيّة، بدلاً من التركيز على كيفيّة استخدام حزمة برامجية معينة في نمذجة الظواهر الجغرافيّة.

مواضيع المناقشة

١- افترض أنك عُيّنت مؤخراً خبير تطبيقات عالي الرتبة في نظم المعلومات الجغرافيّة لدى هيئة لإدارة بيئية إقليمية تُعد جديدة على نظم المعلومات الجغرافيّة، فبالرغم من أن هناك عدد من فني البرامج الأكفاء تحت إدارتك - إلا أن تدريبهم الأساس لم يكن في برامج نظم المعلومات الجغرافيّة، إذ يجهلون بشكل عام القدرة الحسابيّة لهذه النظم، بالإضافة إلى محدوديّة إدراكهم بمتطلبات هذه الهيئة من البيانات المكانيّة. وخلال السنوات الثلاث السابقة لبدء عملك، كانت المهام الرئيسة لهذه النظم في الهيئة محصورة فقط في إدخال بيانات الخرائط الموجودة وإنتاج مُخرجات مطبوعة لهذه الخرائط لعملاء الهيئة في نفس المجال الذين غالبيتهم علماء أحياء (بيئة حيوية) والذين ليس لديهم تدريب أو خبرة في نظم المعلومات الجغرافيّة. بيّن كيف تتقدم إلى رؤسائك لتقترح عليهم طرائق في استخدام نظم المعلومات الجغرافيّة؟ وعلى وجه الخصوص، اقترح أنواع العمليات في هذه النظم التي يمكن أن تكون مفيدة لعملائهم في الميدان. وما هي البرامج التدريبية التي يمكن أن تكون ضرورية لهم وللفنيين، وكيف يمكن أن يكون ذلك مفيداً في رفع كفاءة استخدام هذه النظم في بيئة العمل هذه؟

٢- قد تكون مشتركاً في نادٍ محليٍّ للمتكلمين، وقد لاحظ اثنان أو ثلاثة من أعضاء النادي نسخة من هذا الكتاب في حقيبتك، فطلبوا منك أن تعرّف لهم ما هو نظام المعلومات الجغرافيّة وأن تصف لهم فيما يستخدم أو ماذا يفعل. فبدلاً من أن تجيبهم على انفراد، جهّز محاضرة مدتها سبع دقائق بحد أقصى للنادي لتجيب عن هذه الأسئلة. ماذا يمكن أن تشمله محاضرتك هذه؟

٣- قد يكون لك صديقاً يعمل بنظم المعلومات الجغرافيّة الخطّيّة لعدة سنوات وهو مقتنع بالقدرات النمذجية في هذه النظم. وقد يسألك: لماذا تزعج نفسك بالعمل بالنمذجة الخلويّة بنظم المعلومات الجغرافيّة في حين

أن النموذج الخطي يوفّر لك مجموعة من المُخرجات الخرائطيّة أكثر واقعية؟ بيّن لهذا الشخص مزاياً وسلبيات النمذجة الخلويّة مقارنةً بالخطّيّة في نظم المعلومات الجغرافيّة.

٤- طُلب منك أن تنشئ جهة تنسيقية لنظم المعلومات الجغرافيّة على مستوى إقليميّ. ومن بين أعضاء اللجنة التي تريد تنظيمها مجموعة واسعة من المهنيين غير المتخصصين في نظم المعلومات الجغرافيّة. فبالرغم من أنهم قد سمعوا عن نظم المعلومات الجغرافيّة ويعرفون بأنها ذات علاقة ما بصناعة الخرائط آلياً - إلا أنهم لا يعرفون تماماً كيف يمكن أن تستخدم في مجالاتهم أو أعمالهم الخاصة. قدّم لهذه اللجنة قائمة تحتوي على الأقل خمسة مجالات مختلفة المواضيع يمكن أن تفيد من تحليل هذه النظم، مستشهداً بمثال واحد أو مثالين رصينين (ربما من صفحات الإنترنت المألوفة لديك) تبيّن كيف أن هذا التحليل قد أثبت فائدته لكلّ مجال من هذه المجالات الخمسة. وبالإضافة إلى توضيح كيف تمّ الاستخدام، قدّم فوائد محدّدة قابلة للقياس لهذا الاستخدام.

أنشطة تعليمية

١- يوسّع هذا الفصل تعريف نظم المعلومات الجغرافيّة ليبيّن أن نظام المعلومات الجغرافيّة أكثر من مجرد قطعة برامجية لحل المشكلات الجغرافيّة فقط. قم بإنشاء كراسة قصاصات لتتدرج فيها القدرات النمذجية العامة التي ستُبحث في هذا الكتاب في صفحة أو صفحات منفصلة. الصق - بعد ذلك - لكل قدرة مقالات ومُخرجات نظام المعلومات الجغرافيّة من الصحف والمجلات التجارية (مثل: GIS World, GeoInfo Systems, GIS Europe, Business Geographics, Arc News)، والنشرات الدورية وصفحات الإنترنت، ومن أي مصادر أخرى تجد أنها توضح هذه القدرات النمذجية. قدّم وصفاً مختصراً بجانب كل مقال يبيّن ما تريد توضيحه. خذ في الحسبان أنك قد تستخدم كراسة قابلة للزيادة؛ لأن هذه المعلومات تصبح مفيدة جدا مع زيادة مصادر الأفكار وخبراتك النمذجية.

٢- اختر مجموعة من الحقول والميادين العلمية التي تهتم بها. فإذا كان اهتمامك الرئيس، على سبيل المثال، هو النمذجة البيئيّة بنظم المعلومات الجغرافيّة، قسّم ذلك إلى أجزاء، مثل: مراقبة مواقع هيئة الحماية البيئيّة؛ وتحليل استيطان الحياة البرية؛ والنمذجة المائية؛ والتخطيط البيئي؛ وتقارير تقييم الأثر البيئي. قم - بعد ذلك - بجمع قائمة بالمراجع العلمية والكتب التي توضح مجالات النمذجة التي تهمك.

٣- أنشئ جدولاً أثناء جمعك لقائمة المصادر البحثية تسرد فيه المراجع بشكل مختصر، مثل: الاسم؛ والبيانات، في الجهة اليسرى من الجدول. وفي الأعلى أسرد على الأقل العمليات التحليلية بنظم المعلومات الجغرافيّة التالية: ١) العد البسيط، ٢) القياس البسيط، ٣) مقارنات الخريطة الواحدة، ٤) عمليات المطابقة، ٥) العمليات السطحية، ٦) التنبؤات، ٧) النماذج الموصّفة، كما يمكنك زيادة القائمة حسب حاجتك. والآن حدّد كل العمليات التحليلية المطبقة في كل مقالة تجدها، إذ سوف يبصّرك ذلك جيداً بما يفعله الآخرون. يمكن أن تطبق هذه الطريقة، أيضاً، على عناصر كراسة القصاصات التي جمعتها في النشاط الأول.

الفصل الثاني

طبيعة البيانات
NATURE OF THE DATA

أهداف تعليميّة

يُفترض أن يكون الطالب قادراً بعد إكمال هذا الفصل وتعزيز محتوياته بقراءات خارجية، وبالبحث وبالممارسة العمليّة على عمل ما يلي:

١- تعريف وشرح مصطلح الكَم من منظور المكان الجغرافي.

٢- شرح تشعبات وآثار الكَميّة المكانيّة المتعلقة بتمثيل ونمذجة الظواهر الجغرافيّة.

٣- شرح برسوم توضيحية كيف تمَثّل النقاط والخطوط والمساحات بالنسق أو الهيئة الخلويّة.

٤- شرح برسوم توضيحية ما هية السطوح (Surfaces) والحقول (Fields) وتقديم أمثلة واضحة.

٥- شرح برسوم توضيحية لكيفيّة تمثيل السطوح والحقول في التجزءات أو التقسيمات الخلويّة.

٦- وصف أربعة نماذج خلوية أساسية (النموذج البسيط (كل الأنواع)، والخلوي الموسع، والتفريعات التربيعية، والآلية أو الروبوتات الخلويّة).

٧- شرح الفرق بين الروبوتات الخلويّة والأنواع الأخرى من نماذج البيانات الخلويّة.

٨- عدّ مزايا وسلبيات التمثيل الخلوي التمثيل الخلوي للبيانات مقارنةً بالتمثيل الخطي من وجهتي نظر النمذجة وتخزين البيانات.

٩- وصف أيّ أنواع النماذج التي يمكن حلها بكفاءة باستخدام نظم المعلومات الجغرافيّة الخلويّة وتقديم أمثلة واضحة لذلك.

١٠- حصر مصادر عديدة للبيانات الخلويّة لنظم المعلومات الجغرافيّة لتشمل، لكن لا تقتصر على، مصادر الاستشعار عن بعد.

١١- شرح أهمية حجم خلية الشبكة، والمسقط، والنظام الإحداثي، فيما يخص النمذجة الخلويّة بنظم المعلومات الجغرافيّة.

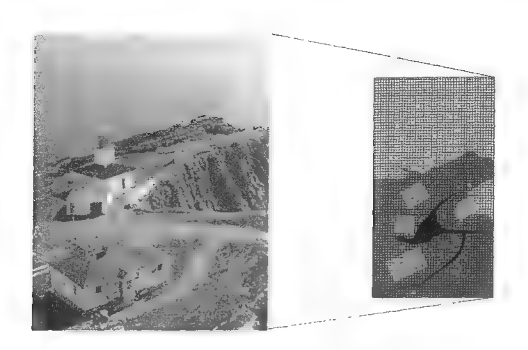
١٢- تقديم بعض المصادر الأساسية للخطأ في البيانات الخلويّة لتشمل التعميم، والتصنيف والتفاعل، وعناصر الخطأ المتعلقة بصفات الظاهرة.

١٣- وصف، بشكل عام، كيف يمكن التعامل مع العنصر الزمني في العمليات التقليديّة بنظم المعلومات الجغرافيّة الخلويّة.

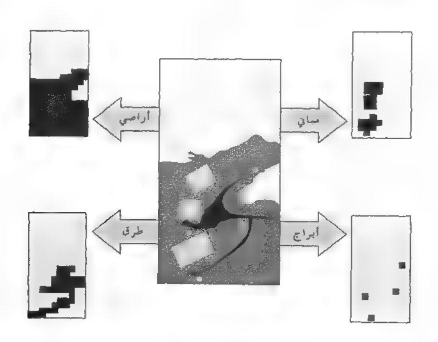
مقدمة في التقسيم الخلوي

تعدّ البيانات الخلويّة - حسب ما جاء في الفصل الأول - أنواعاً من البيانات المألوفة وذات فاعليّة في النمذجة بنظم المعلومات الجغرافيّة. وبالرغم من أن بعضكم قد يجد راحةً كبيرة مع هذا النوع من البيانات وقدراتها - إلا أنه من المهم أن نراجع هذه المفاهيم ونفحصها بدرجة كبيرة من التفصيل. سوف يوفر لنا هذا أرضية مشتركة ومصطلحات موحدة نبني عليها مفرداتنا ومفاهيمنا النمذجية.

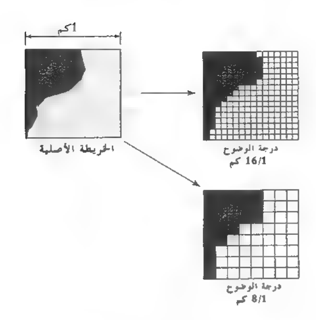
تعد كل أنواع البيانات الخلويّة تجزيئات أو تقسيمات فسيفسائية (Tessellations)، أو بمثابة طرائق لتقسيم المكان الجغرافي بحيث يمكن تمثيله بشكل ما داخل الحاسوب. فالعمليّة تبدأ بتصور لعالمنا الحقيقي ثم تحويله إلى تجريد خرائطي (الشكل رقم ٢,١). وبمجرد إتمام هذه العمليّة، يُحول المنتج الخرائطي إلى منتج مماثل لكنه رقمي وذلك عبر شكل ما من أشكال التجزئة. يجزّئ هذا الشكل الخلوي المكان الجغرافي إلى سلسلة من القطع المنفصلة والتي يمكن بواسطتها تمثيل البيانات الجغرافيّة الحقيقية. وتسمى هذه المنهجيّة بالكميّة المكانيّة (Kemp, 1993). وبهذا أعني، إننا نقسم البيانات المكانيّة إلى مقادير كميّة أو رزم صغيرة نجري عليها عملياتنا التحليلية إما فرادى، وإما مجتمعة (الشكل رقم ٢,٢). يحوّل هذا النوع من التمثيل كل من البيانات المتصلة والمنفصلة إلى وحدات منفصلة يعمل عليها البرنامج. ويوفر هذا التمثيل بهذه الطريقة معلومات مكانيّة أقل دقة مقارنةً بمثيلاتها الخطّيّة (Vector)، لكنها تضيف القدرة على تخزين الأنواع المختلفة من معلومات الكيانات المكانيّة بشكل متماثل. وكلما زادت المساحة الأرضية التي تمثّلها الخلية الواحدة قلت الصحة الموقعية أو الأرضية. وبكلمة أخرى، كلما قلّت درجة وضوح خلايا الشبكة قلّت الصحة المكانيّة (الشكل رقم ٢,٣). عادةً ما تمثّل خلايا الشبكة في شكل مربعات، بالرغم من أنها ليست مقصورة على شكل معين، وهناك أشكال أخرى ممكنة مثل متوازيات الأضلاع وسداسيات الأضلاع (الشكل رقم ٢,٤). وبالرغم من أن لهذه الأشكال إيجابياتها الخاصة مقارنةً بالمربع، مثل قدرتها في تمثيل البيانات السطحية (مثل المثلثات) أو الظواهر الكروية (مثل الأشكال السداسية) أو بيانات الاستشعار عن بعد (مثل متوازيات الأضلاع) - إلا أن بساطة المربع وسهولة التعامل معه، وطبيعته التلقائية، في الغالب، هي التي تجعله الشكل المفضل في التقسيم الخلوي. ونتيجة لهذه المميزات، فإن معظم برامج نظم المعلومات الجغرافيّة الخلويّة الأولية صُممت بحيث تستخدم شبكة الخلايا المربعة، وأكثر برنامج خلوي اتباعا هو برنامج ماب (MAP) - اختصاراً لحزمة التحليل الخرائطي، المقدم من Tomlin (توملن) في عام ١٩٨٣م، والذي استفاد من هذا التقسيم استفادة كاملة.



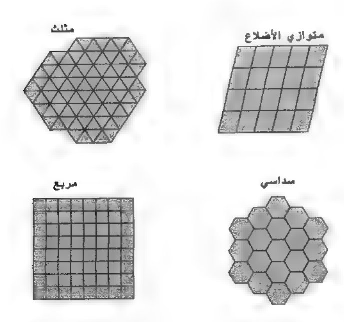
الشكل رقم (٢,١). سواء كانت الخريطة تقليدية أو رقميّة فهي تجريد للواقع، باستخدام رموز لتمثيل الأهداف التي نبني عليها نماذجنا بنظم المعلومات الجغرافية.



الشكل رقم (٢,٢). يشتمل التمثيل الخلوي للنقطة والخط والمساحة على تقسيم مكاننا الجغرافي إلى وحدات كمية منفصلة نطلق عليها خلايا شبكية.



الشكل رقم (٢,٣). كلما كبرت خلايا الشبكة (نقصت درجة الوضوح) قلّت الصحة الموقعية.



الشكل رقم (٢,٤). بالرغم من أن المربع يعدّ الشكل القياسي الأكثر استخداماً – إلا أن هناك أشكال أخرى يمكن تطبيقها لتقسيم المجال الجغرافي. كل واحد منها له خصائصه ومنافعه المتميزة.

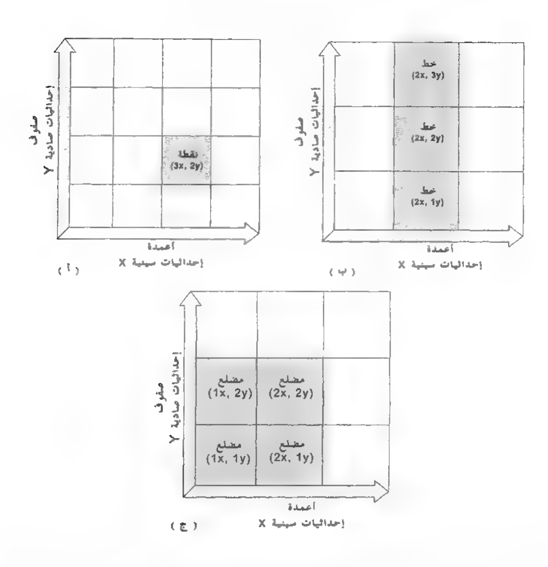
هذا يشرح إلى حد ما سيادة هذا النوع من خلايا الشبكة في نظم المعلومات الجغرافيّة. لقد صُممت الخلايا الشبكية أو النموذج الخلوي لتمثيل أهداف (ظواهر) جغرافيّة معروفة أو مفهومة وتقديم آليات لتخزين المعلومات الوصفيّة لهذه الأهداف أيضاً. وقد حُدّد المكان الجغرافي تقليدياً بواسطة عدد من أنواع الكيانات الجغرافيّة. فالنقاط تمثّل بخلايا فردية، وتُحدّد إحداثياتها، عادةً، من خلال مواقعها النسبية في مصفوفة من المواقع الخلويّة الشبكية. وبمعنى آخر، تكون مواقعها منسوبةً لكل مواقع الخلايا الشبكية الأخرى، ويتحدّد ذلك، في الغالب، بواسطة مجموعة من الإحداثيات المكانيّة السينية (X) والصادية (Y) في الحيز (أو النظام) الكارتيزي (الشكل رقم ٢,٥أ)، وينتج عن هذا قصوراً نسبياً في الصحة المكانيّة.

توفر معظم نظم المعلومات الجغرافيّة الحديثة إمكانيّة الربط بين المكان الإحداثي الكارتيزي وبين النظام الإحداثي الجغرافي، ممّا يسمح بالترميز أو التسجيل الجغرافي، وذلك لعمليات مطابقة الطبقات الخلويّة المخزّنة حسب مساقط مختلفة، ولعمليات تعديل المساقط، ولعمليات مطابقة الحواف (بين الطبقات)، وللسماح بمعالجات مكانيّة أخرى مثل التغطية عن طريق المط (Rubber Sheeting). إن هذه المواضيع تقع خارج اهتمام هذا الكتاب، ويمكن الرجوع إلى معلومات أكثر من مصادر أخرى (انظر على سبيل المثال، Chrisman, 1997; Heywood, et al., 1998).

إن توسيع التمثيل الخلوي للأهداف الجغرافيّة إلى خطوط ومساحات يعد ببساطة عمليّة إضافة مجموعات من المواقع النقطية الخلويّة مع الخط الذي يشغل حيزاً مكانياً متداخلاً. فعلى سبيل المثال، يعد الخط حسب النموذج الخلوي عبارة عن مجموعة خطيّة من الخلايا الشبكية، ويتحدّد موقع كل خلية - كما سبق - كموقع نسبي في المصفوفة الكاملة لشبكة الخلايا (الشكل رقم ٢,٥ب). ومن الناحية النظريّة، فالخط الممثل بواسطة موقع خلايا الشبكة يُعد بعداً واحداً، ويتحدّد طوله حسب بعده المكاني المُقاس.

طبعاً، تغطي خلايا الشبكة عملياً بُعدين، لكننا، هنا، نعلّق عدم تصديقنا بذلك مؤقتاً، وذلك بغرض التبسيط. أما زيادة هذا البعد فيتمثّل في إنشاء مجموعة من الخلايا الشبكية ذات البعدين لتمثيل المساحات أو المضلعات الخلويّة (الشكل رقم ٢,٥ج)، ويتحدّد موقع كل خلية بشكل كبير، مثل السابق، من خلال موقعها النسبي في مصفوفة الخلايا معا مع أي نظام إحداثي للشبكة يُركّب على المصفوفة. وبالرغم من أن التقسيم الخلوي يعد أقل صحةً في تمثيل المكان الجغرافي المطلق - إلا أن شكله المنتظم والمتسق يسهّل عمليّة مقارنة المحتويات بين الخرائط الموضوعيّة المبنيّة على الخلايا.

بالإضافة إلى ذلك، فإنه يسمح بأن تكون كل عناصر الأهداف الجغرافيّة (النقطة، والخط، والمساحة) ممثلة بنفس التقسيم. كما يسمح، وربما هذا هو الأهم، بتمثيل النوع الأخير من الأهداف الجغرافيّة (السطوح والحقول) بنفس نموذج التقسيم.



الشكل رقم (٢،٥). تُحدّد مواقع خلايا الشبكة في الحيز الكارتيزي حسب مواضعها في شكل قيم أعمدة وصفوف مرتبة. وهكذا، فتمثل النقاط (أ) بزوج واحد من الإحداثيات، والخطوط (ب) بمجموعات خطّيّة من الأزواج الإحداثية، والمساحات (ج) بمجموعات من الأزواج الإحداثية.

إن السطوح، وهي التي تُعَد الظواهر الجغرافيّة النهائيّة المطلوبة في داخل نظام المعلومات الجغرافيّة، تُبنى أساساً على فكرة السطح الإحصائي. وأعني بهذا، أن السطوح لا تحتاج بالضرورة أن تكون طبوغرافيّة أو خاصة بارتفاع السطح، بل معنية بتمثيل أي مجموعة من البيانات التي تكون أو يُفترض أن تكون متصلة (مستمرة) وقابلة للقياس حسب مقاييس البيانات الترتيبية أو الفاصلية أو العشرية (Robinson, et al. 1995). أما مفهوم الحقل (Field) فهو زيادة على السطح الإحصائي، لكنه يشمل أي بيانات ذات علاقة بالسطح الإحصائي بحيث يمكن تمثيلها في

شكل معادلة. وفي الحقيقة، إن تمثيل السطح الإحصائي كمعادلة هو الجانب الأهم في الحقل. وعلى كل حال، يمكن أن تشمل الحقول كل التمثيلات السطحية الإحصائيّة، مثل تجاذب القوى بين أو ضمن المؤسسات الاقتصادية أو بين مصادر الموارد ومصباتها، أو العلاقات بين الحيوانات المفترسة وضحاياها (Hilborn, 1979). ومعظم هذه السطوح الإحصائيّة يمكن تمثيلها بمعادلة واحدة - على الرغم من التعقيد الذي قد تكون عليه هذه المعادلة - لكن هذا لا يعيق قدرتها في تمثيل هذه السطوح كرُزم معلومات محدّدة المعالم بالنموذج الخلوي. سوف نركّز في ضوء اهتمامنا بالتقسيم الخلوي على السطوح والحقول في إطار تلك القرينة.

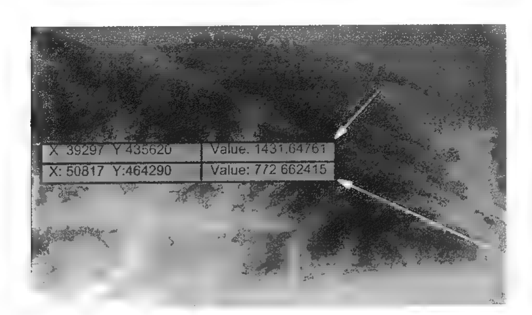
يمكن للسطوح، وكما هو الحال مع الكيانات النقطية والخطّيّة والمساحية، أن تمثّل بواسطة التجزئة الكمية للمكان الجغرافي. وإذا افترضنا - مثلما بيّنا سابقاً - أن السطوح الإحصائيّة مؤلفة من بيانات متصلة، فإن تصويرها في شكل خلوي يتضمن تحويل السطح الطبيعي المتصل إلى تجزيئات منفصلة قائمة بذاتها، والتي أطلقنا عليها بالخلايا الشبكية. وبما أن السطوح تحتوي على أبعاد ثلاثة (طول وعرض وارتفاع) فالصفة النسبية للمعلومات الخاصة بالموقع المُتضمنة في الخلايا الشبكية الممثَّلة تُضاف إلى البعد الثالث. (أي ما يُعطى من معلومات وصفيّة للخلية يمثّل البعد الثالث). وبهذا، فهناك فقدان للصحة المكانيّة في الأبعاد عند المحاور الأفقية (X,Y) والرأسية (Z). مرة أخرى، يمكن، على أي حال، تحمّل هذه الخسارة في الصحة في ظل سهولة التعامل مع معلومات السطح وتحليلها ومقارنتها بالطبقات الأخرى.

إن تمثيل السطح الإحصائي في نموذج التقسيم الخلوي يشمل، عادةً، تقديم قيمة واحدة ثالثة أو قيمة ارتفاع (Z) لكل موقع خلية (الشكل رقم ٢,٦). ونتيجة لذلك، فإن هذه القيمة ستكون ممثلة لموقع معين في داخل الخلية، لكنها ستشير إلى كامل المنطقة التي تغطيها الخلية. وهذه الطريقة مألوفة في تمثيل السطوح الإحصائيّة بالنموذج الخلوي والتي تعد طريقة نموذجية في تمثيل البيانات الخلويّة لكل الكيانات أو الظواهر الجغرافيّة. سوف يناقش الجزء التالي بعض الطرائق البديلة لهذه الطريقة أو المنهجيّة التقليديّة، وسوف يبيّن كيف أنه بتطوير هذا النموذج يمكن الحصول على نتائج نمذجية مفيدة بنظم المعلومات الجغرافيّة.

نماذج البيانات الخلويّة

يهدف التقسيم أساساً إلى تشكيل تمثيل بياني للظواهر. وترتبط هذه الظواهر، عادةً، مع بياناتها الوصفيّة من خلال تخصيصات عددية صريحة لكل خلية. فالهدف أو الظاهرة التي تمثّل بشكل نقطي، على سبيل المثال، في النموذج الخلوي يُخصص لها، عادةً، قيمة عددية واحدة، فربما يمكن أن تستخدم قيمة (٢) كرمز اسمي لتمثيل أعمدة الهاتف باعتبارها ظواهر نقطية. وهذا يشبه تخصيص قيم عددية رقميّة (صفات) ذات مدى معين، مثل بين (٠) و(٢٥٥) لبيانات الاستشعار عن بعد الممثلة بالبكسلات (Pixels). وبالرغم من أن هذه المنهجيّة سهلة الفهم - إلا أنها طريقة واحدة فقط ضمن طرائق عدة أخرى لتمثيل البيانات، وسوف أشير إليها، هنا، على أنها نموذج

البيانات الخلويّة البسيط (أو العادي). إن ما تعنيه فكرة نموذج البيانات هذه هو أننا نحتاج إلى أن ننشئ طريقة موضوعيّة بحيث يستطيع الحاسب أن يستخدمها لربط الكيانات البيانية مع خصائصها الوصفيّة، خاصة في حالة وجود مواضيع (أو خصائص) متعددة. سوف نبدأ بفحص النموذج الخلوي البسيط ثم ننتقل إلى طرائق أكثر تعقيداً أو إثارة في النمذجة الخلويّة بنظم المعلومات الجغرافيّة.

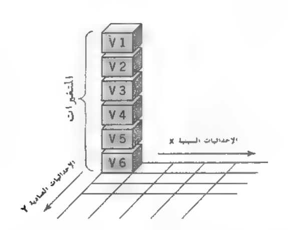


الشكل رقم (٢,٦). لتمثيل السطح حسب النموذج الخلوي، يتم تخصيص قيمة مفردة تمثّل قيمة ارتفاع السطح لكل خلية. في المقابل، ما يزال موقع الخلية يُسجل في شكل زوج واحد من قيم الصفوف والأعمدة

النموذج الخلوي البسيط

لكل موقع في المصفوفة الخلويّة في النموذج الخلوي البسيط قيمة عددية واحدة لتمثيل أي من الظواهر النقطية أو الخطّيّة أو المساحية أو السطحية التي نصادفها في الواقع. إن هدف هذا النموذج، مثل الطرائق الأخرى التي سوف نعرفها فيما بعد، هو السماح بإجراء عمليّة النمذجة. هذا يتجاوز عمليّة الترميز (Coding) البسيطة للظواهر والصفات. ففي النمذجة، من المهم أن تتفاعل خلايا الشبكة في الموضوع (Theme) الواحد مع الخلايا الأخرى سواء في نفس الموضوع أو مع الخلايا الخاصة بمواضيع متعددة إضافية. صحيح أن النظام بدون هذه الخاصية يمكن أن يسمح بإنتاج خرائط خلوية – إلا أن قدرته النمذجية ستكون محدودة جداً. يوجد من ضمن طرائق تركيب مثل هذه النماذج فئة عامة من نماذج البيانات الخلويّة التي سوف نطلق عليها النماذج البسيطة؛ لأنها تخزن قيمة واحدة لكل خلية في الشبكة ولكل موضوع، وهي مازالت شائعة حتى اليوم سواء في حزم البرامج الخلويّة التعليمية (مثل برنامج

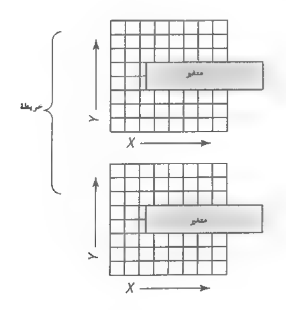
MAP [ماب] الأصلي والأشكال الأخرى منه)، أو البرامج الاحترافية (مثل IDRISI و GRASS). وفي إطار هذه الفئة العامة هناك، على أي حال، أشكال مختلفة للنموذج، كل منها يعالج عمليّة الوصول إلى البيانات والمعلومات في التقسيم الخلوي بطريقة مختلفة. وأول هذه النماذج ما يعرف بنموذج ماجي MAGI (DeMers, 2000a)، والذي يتعامل مع كل خلية في الموضوع الواحد على حدة، ويعمل - متى ما دعت الضرورة - مقارنات مع الخلايا الأخرى في المواضيع المختلفة في شكل عمودي (الشكل رقم ٢,٧). وتعد هذه المنهجيّة من أوائل ما تم تطويره والذي يظهر تركيزاً مبكراً ضرورياً لنظم المعلومات الجغرافيّة لتقارن وتمايز بين العديد من البيانات الموضوعيّة للنمذجة. وبالرغم من كفاءة هذه المنهجيّة - إلا أنها ليست بدهية كما يتوقع، خاصةً إذا أخذنا في الاعتبار ميل المنمذجين بنظم المعلومات إلى التعامل مع المواضيع كوحدة كاملة في بعدين على الأقل، بدلاً من التعامل مع كل خلية على أنها جزء من العمود.



الشكل رقم (٢,٧). تتعامل طريقة MAGI لتمثيل بيانات نظم المعلومات الجغرافيّة الخلويّة مع كل قيمة على أنها جزء من العمود. توفر هذه الطريقة ربطاً رأسياً فيما بين مواضيع شبكية متعددة، لكنها تجعل التعامل مع المجموعات الأفقية للخلايا أقل كفاءة.

أما الشكل الآخر المسمى بـ IMGRID، فهو بخلاف سابقه (MAGI) إذ يستخدم المصفوفة ثنائية البعد أو الموضوع على أنها الوحدة الرئيسة التي تُجرى عليها الاستعلامات (الشكل رقم ٢,٨). وأول ما أُنتج هذا النظام، كانت التكلفة مرتفعه لكل من ذاكرة الحاسب والتخزين. ولتقديم شرح لهذا النظام، فإن كل موضوع كان مُحدَّداً جداً، إذ يتطلب أن تكون المواضيع في شكل أو نسق ثنائي (Binary). هذا استلزم بأن تُرمَّز كل فئات المواضيع بقيمتين: إما (١)، وإما (٠). وبهذه الطريقة، فموضوع مثل استخدام الأرض يصبح غير قابل للعمل عليه لأنه يحتوي على أكثر من فئة، وهذا يتعارض مع قاعدة الثنائية هذه، وعليه فإن البديل هو لابد من تبسيط موضوع استخدام الأرض. وهناك بعض

الأمثلة على هذه الفئات الموضوعيّة المألوفة التي قد تشمل أزواج ثنائية كالتالي: يابس مقابل ماء؛ وريفي مقابل عمراني؛ وصناعي مقابل غير صناعي؛ وملوَّث مقابل غير ملوَّث. وكما تلاحظ، فإن المنهجيّة الثنائية تبسّط عمليّة الترميز إلى (١) و(٠)، ومن ثم توفر مساحة تخزينية في الحاسب. ومع ذلك، فإذا أخذت في الاعتبار تمثيل السطح الإحصائي، فإنه يصعب تمثيل البيانات غير الثنائية مثل القيم الطبوغرافيّة، أو سطوح الاحتكاك (Friction Surfaces)، أو سطوح الإعاقة (Impedance Surfaces)، أو قيم تجاذب القوى لأيّ نوع كان، أو قيم الاحتمالية، وغيرها من القيم المشابهة. بالإضافة إلى ذلك، يمكنك بسهولة أن تتصور وجود عدد من الفئات التي قد تصل في الخريطة الواحدة إلى (١٠٠) فئة من استخدامات الأرض أو الغطاء الأرضي. لهذا، فإذا تم الأخذ بمنهجيّة الثنائية هذه فإن هناك حاجة إلى وجود العشرات من المواضيع المنشأة لتغطية هذا الموضوع الواحد فقط.

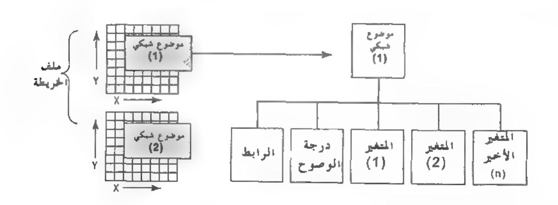


الشكل رقم (٢,٨). إن طريقة IMGRID للتمثيل الخلوي هي نموذج أفقي يستلزم بأن يمثّل كل موضوع بطريقة (١) و(٠). وبهذه الطريقة، يجب أن يمثّل كل موضوع بطريقة بوليانية (ثنائية) لا يسمح بوجود تدرج ولا فئات متعددة داخل نفس المجموعة من خلايا الشبكة الأفقية.

وفي الحقيقة، إذا كان المطلوب تمثيل كل فئة من فئات استخدام الأرض بقيمة (١) والمقابل لها (لا يوجد فئة - إذا شئت)، فإن خريطة تقليدية - عندئذ - مكونة من (١٠٠) فئة قد تتطلب (١٠٠) موضوعاً لتخزين كل هذه المعلومات. أيضاً، وقبل أن ترفض هذا النموذج، فإن فكرة المواضيع الثنائية أو الخرائط الثنائية سوف نتحدث عنها في سياق النمذجة باعتبارها وسيلةً من وسائل التعامل مع أعداد كبيرة من المتغيرات والمواضيع.

أما النوع الأخير من نموذج البيانات الخلوي البسيط فقد طوّره C. Dana Tomlin (1983) (دانا توملن) لبرنامج حزمة التحليل الخرائطي Map Analysis Package-MAP (ماب)، كجزء من رسالته للدكتوراه في جامعة ييل بكلية الغابات. وفي هذا البرنامج، يتعامل نموذج البيانات مع كل موضوع بشكل متكامل، وبهذا يسمح بفئات متعددة للقيم الموضوعيّة لكل موضوع أو تغطية (Coverage)، وما يزال هذا النموذج ضمن أكثر نماذج البيانات الخلويّة اتباعاً في العالم. ويعدّ الموضوع في هذا النموذج العنصر الأولي الذي تجري عليه النمذجة، فالسطوح الإحصائيّة والحقول يمكن تضمينها بسهولة في نظام المعلومات الجغرافيّة، كما هو الحال مع النقط والخطوط والمساحات (الشكل رقم ٢,٩). يستعمل نموذج البيانات الأصلي الذي قدمه توملن منهجيّة "قيمة واحدة لكل خلية"، مثلما تفعله الأشكال الأخرى من نماذج البيانات الخلويّة البسيطة.

كما يعد هذا النموذج أكثر ترابطاً من سابقه (IMGRID)، لكنه ما يزال يعقّد عمليّة تخزين معلومات الفئات ذات التعقيد الشديد التي يمكن تضمينها بسهولة في فئة واحدة. فخذ، على سبيل المثال، فئة واحدة من المحاصيل الحقلية التي تكون في شكل صفوف التي يمكن أن يشملها موضوع زراعي، بل قد يوجد قائمة معلومات إضافية مع هذه المحاصيل، منها: نوع المحصول؛ والتنوع؛ وتاريخ الزراعة؛ وإضافة المبيدات الحشرية؛ ونوع المخصبات؛ والمحصول المتوقع. هذا يشير إلى نفس مشكلة اتساع البيانات التي رأيناها مع نموذج البيانات الخاص بـ: IMGRID. وأكثر من ذلك، إنه يعني أن النموذج الخلوي البسيط بحاجة إلى توسيع ليتخلص من هذه السلبية.



الشكل رقم (٢,٩). يخزن برنامج توملن MAP (ماب) الخلايا الشبكية بطريقة بحيث يمكن من خلالها التعامل مع كل موضوع على حدة. بالإضافة إلى ذلك، يمكن معالجة فئة موضوعيّة واحدة أو أكثر، عند الحاجة.

تستخدم هذه النماذج غالباً الأعداد الكاملة أو الصحيحة (Integer) في الترميز بدلاً من الأعداد الكسرية. وبالرغم من إنه من الممكن تخزين الأعداد الكسرية بهذه النماذج - إلا أن حجم التخزين الضروري لهذه الأعداد،

بل والأكثر أهمية، حجم القدرة الحسابية والمعالجة المطلوبة لنمذجة هذا النوع والقدر من الأعداد، يتجاوز تلك القدرات المتوفرة حتى في أقوى منصات العمل الحاسوبية. ولقد قاد هذا البعض إلى فكرة الانتقال بنظم المعلومات الجغرافيّة للعمل بقدرات المعالجات الحاسوبية المتوازية (المتزامنة) في الحواسيب المتقدمة جداً – إلا أن قدرة هذا النوع من الحواسيب يعيق تطبيق هذا النهج، سوى للاستخدامات المعمليّة الصرفة في مجال البحث العلمي. وعليه فإن ذلك يعد خياراً غير عملي للتطبيقات والاستعمالات التجارية لنظم المعلومات الجغرافيّة.

النموذج الخلوي الموسع

يتسبب النموذج الخلوي البسيط في تكاثر البيانات؛ وذلك لأن كل الفئات يجب ترميزها بشكل صريح عند كل خلية ولأي موضوع من مواضيعها أو طبقاتها. ويعد النموذج الخلوي الموسّع (أو المحسّن)، في الحقيقة، امتداداً لنموذج ماب والذي يكون فيه الموضوع السمة الرئيسة التي يعالجها أو يهتم بها. وهذه السمة أو الخاصية لنموذج ماب هي التي تجعله ملائماً للعمل مع النموذج الخلوي الموسع؛ وذلك لأن التحسين، هنا، يتعامل مع الموضوع باعتباره وحدةً أو كياناً أساسياً فيوسّعه من خلال السماح بتمثيل بيانات موضوعيّة عديدة لكل خلية في الشبكة. وبهذه الطريقة يتم التعامل أولاً مع الموضوع أو الطبقة (على سبيل المثال، نحدّد ونعزل موضوع "الغابات"). هنا، لدينا في "الغابات" مجموعة من الخلايا مجمّعة حسب فئات الغابات، مثل: الصنوبر الأبيض؛ والراتنيج الأزرق؛ والبلوط الأحمر الشمالي؛ والحَوَر الرجراج؛ والدردار؛ وغيرها. ولكل من هذه الفئات، لدينا مجموعة من الخلايا تُرمّز فئاتها بشكل صريح بقيم عددية، كما هو الحال في نموذج ماب نفسه. بعد ذلك، تُربط كل فئة مع مجموعة من البيانات المجدولة وتُحفظ في نظام إدارة بيانات علائقي (RDBMS) (الجدول رقم ٢,١).

نجد على سبيل المثال في موضوعنا (الغابات) في الجدول رقم (٢,١) أن هناك بيانات وصفيّة إضافية، مثل: كثافة الظل؛ ونسبة ضرر الحشرات. تلاحظ أيضاً، أن هذا يساعد في تخزين صفات إضافية، مثل: القيم المرتبطة مع كل عدد؛ ومقدار (عدد) الخلايا (مساوياً للنسبة من الخريطة المغطاة بكل فئة). وكما ترى، فهذا يسمح بكمية من البيانات الوصفيّة التي يمكن أن يحتويها كل موضوع، وهذا يوفر مساحة تخزين حاسوبية؛ إذ لا يتطلب ذلك مواضيع إضافية لكل فئة، في الوقت الذي يضع البيانات الموضوعيّة بين يدي المستخدم بسهولة. والأخيرة هذه تعد مهمة جداً لعمليّة النمذجة، إذ أنه مع كل خريطة تُستخدم يتم جلب صفاتها المرتبطة بها. بالإضافة إلى ذلك، فكلما تداخلت أي خريطة مع أي خريطة إضافية فإن البيانات الموضوعيّة المضافة تنتقل إلى المواضيع المنشأة الجديدة.

يشتمل نموذج البيانات في حزمة التحليل الخرائطي (MAP) الموسّع على إنشاء مُدخلات في جدول الصفات لكل خلية ممثلة. يسمح هذا النموذج للخلية الواحدة بأن يكون لها عدداً من التوصيفات دون حاجة إلى وجود مجاميع إضافية من الشبكات الموضوعيّة.

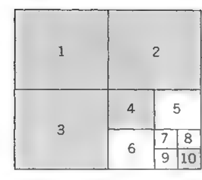
الجدول رقم (٢,١). نموذج البيانات الموسع في MAP (ماب).

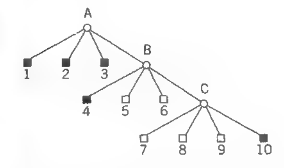
2	1	4	4	4	1
2	2	0	5	5	1
2	2	1	5	5	1
1	2	4	1	2	1
3	3	3	1	2	1
1	1	3	0	0	4

نسبة ضرر الحشرات	كثافة الظل	النوع	العدد	القيمة
لا يوجد بيانات	لا يوجد بيانات	لا يوجد بيانات	٣	٠
٨	٣٠	صنوبر أبيض	١٢	١
١٠	٦٥	بلوط أحمر	٨	٢
٠	١٠	راتنيج أزرق	٤	٣
٢٠	٤٥	حَوَر رجراج	٥	٤
٣٥	٨٠	دردار	٤	٥

التفريع التربيعي

نجد أنه في كل أنواع نماذج البيانات الخلويّة التي استعرضناها حتى الآن إن الفرضية الرئيسة هي أن كل خلية تأخذ نفس الحيز من المكان الجغرافي. وبالرغم من أن هذا التقسيم يعد سهل الاستيعاب نسبياً – وبالتأكيد هو الأكثر شهرة – إلا أنه يتطلب أن تُخزن كل خلية وكل مجموعة من الصفات المرتبطة (في حالة النموذج الخلوي الموسع) في شكل عنصر أو عناصر منفصلة. ينتج عن هذا مساحة تخزينية هائلة غير مرغوب فيها. وهناك بعض الطرائق لهذه التقسيمات التقليديّة للترميز والتخزين بهدف تقليل كميات البيانات المخزنة. فعلى سبيل المثال، توفر طريقتا ترميز طول فترة التنفيذ (Run-Length Encoding) والترميز الكتلي (Block Encoding) كميات من مساحة التخزين لا يستهان بها، من خلال دمج أقاليم كبيرة من الأرض لتصبح وحدات متكاملة. تتطلب نظم المعلومات الجغرافيّة المتعلقة بهذه التقنيات أو الطرائق، في بعض الأحيان، تحويل البيانات إلى أشكال غير مدمجة (مجزّأة) قبل التحليل والنمذجة، في حين أن بعض البرامج الأخرى لا تتطلب ذلك. إن طرائق الدمج هذه مصممة أساساً لعمليات الإدخال والتخزين بدلاً من عمليّة النمذجة. هناك نموذج آخر للدمج تم تصميمه في الأصل لعمل نظم الخبرة والذكاء الاصطناعي، حيث صُيغ ليعمل بوصفه شكلاً من أشكال نماذج نظم المعلومات الجغرافيّة الخلويّة. يسمى هذا النموذج بالتفريع التربيعي (Quadtree)، حيث يقسّم الأرض إلى وحدات مربعة متجانسة متعاقبة في الصغر (الشكل رقم ٢,١٠)، يسمح للمستخدم بأن يحدّد مقدار تفصيل التقسيم (يسمى، في هذه الحالة، بمستوى التفريع التربيعي) المطلوب استعماله في النمذجة. إضافة إلى ذلك، يعد تركيب بيانات التفريع التربيعي سهل الاستعمال للنمذجة دون حاجة إلى أن يتم أولاً إعادة تشكيله إلى حالته المكانيّة الأكثر بدائية (الأصلية). يتوفر نوعان أساسيان من حزم البرامج التي تستخدم نموذج البيانات هذا، الأول، نسخة غير تجارية من جامعة ماري لاند يسمى: Quilt (كويلت) (Shaffer, et a;. 1990)، ويحتاج إلى بناء واجهة مستخدم. والثاني، يسمى: SPAN (إسبان)، وهو حزمة محترفة تجارية، ويعد مناسباً تماماً من حيث القدرة على تطوير نماذج نظم المعلومات الجغرافيّة الخلويّة. ولحسن الحظ، فإن المنهجيّة في النمذجة تشبه كثيراً ما يمكن أن يصادفه الواحد في أي من حزم نظم المعلومات الجغرافيّة الخلويّة الأكثر تقليدية.





الشكل رقم (٢,١٠). إن تمثيل الخلايا بالتفريع التربيعي يقسم المكان الجغرافي إلى تربيعات متعاقبة. يخزن هذا المنهج في تمثيل البيانات الخلوية مجاميع مربعة متماثلة للخلايا كقيمة أو مستوى تفريعي تربيعي واحد. وبهذه الطريقة، فإن الأقاليم الأكثر تجانساً عادةً ما تُخزن بكفاءة.

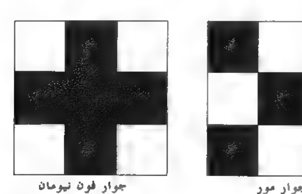
الآلية الخلويّة

شهد مجال نماذج نظم المعلومات الجغرافيّة الخلويّة مؤخراً دخول تطوير موازٍ صُمم أساساً من قبل جون فون نيومان وصديقه أولان وتم تفعيله لنمذجة الحياة نفسها كجزء ممّا سُمي بلعبة الحياة (Game of Life) (Gardner, 1990, 1971). ولقد سُمي بالآلية أو الروبوتات الخلويّة (Cellular Automata – CA)، وتُبنى نماذج البيانات هذه، أيضاً، على تقسيمٍ خلويّ منتظم للمكان الجغرافي. ويخزن نموذج الآلية الخلويّة قيمة، مثل النموذج الخلوي البسيط، لتمثيل صفة ما لسطح الأرض (Theobald and Gross, 1994). غير أنه يختلف عن نظم المعلومات الجغرافيّة الخلويّة المعروفة في أنه يشتمل على مجموعة صريحة من قوانين الانتقال (Transition Rules) يحدّدها المنمذج، وهي مصممة بحيث تسمح بالنمذجة الديناميكيّة. وهاتان الخاصيتان هما ما جعل الآلية الخلويّة يُطلق عليها بآلية التقسيم الذاتية، أو بالمصفوفة المعاودة أو المتكررة في حالة السماح بالمُدخلات الخارجية.

يختلف التعريف الحقيقي، في الواقع، بين مؤلف وآخر، خاصةً فيما يتعلق بكيفيّة تحديد قوانين الانتقال ضمن خلايا الشبكة. تتأرجح التعريفات للنماذج المبنيّة على أساس شبكي بناءً على حالة (State) القيم، فتكون إما متصلة وإما منفصلة، أو بناءً على حالة قوانين الانتقال، فإما عشوائية وإما حدية صارمة، أو على أساس تغيرات الحالة، فإما متزامنة وإما غير متزامنة (Childress, et al. 1996). وقد تُستنبط القوانين، في بعض الأحيان، من خلال الاستنباط اللغوي لتجارب النموذج، أو من خلال قوانين عمليّة مجربة (Rules of thumb) (Wu, 1996)، وفي أحايين أخرى، ترتبط القوانين بشكل قريب جداً من الظروف البيئيّة الحقيقية (Childress, et al. 1996). لقد حاول بعض

الباحثين ربط الآلية الخلويّة مع نظم المعلومات الجغرافيّة الخلويّة المتوفرة، من خلال تعديلات معينة على الجبر الخرائطي لِتوملن (Takeyama and Couclelis, 1997). سوف نناقش الكثير من جوانب النمذجة لنماذج البيانات هذه عندما نفحص – فيما بعد من هذا الفصل – استخدام نظم المعلومات الجغرافيّة في نمذجة البعد الزمني.

ولكي تُنفذ النمذجة بنموذج الآليات الخلويّة، لا بد أن تكون الصفات مسجلة على هيئة أعداد نسبية (كسرية). هذا مهم؛ ذلك أن حالات الانتقال، والتي تكون دقيقة في الغالب، يمكن تمثيلها بتغييرات (فروق) دقيقة متساوية بالأعداد الكسرية. إضافة إلى ذلك، يستند نموذج الآلية الخلويّة بشكل كبير على مفهوم الجوار (Neighborhood) – وهو مفهوم سنعود إليه في الفصل الرابع. إن أكثر الجوارات شهرة هما: جوار فون نيومان (خلايا الجوار الملاصقة)؛ وجوار مور (خلايا الجوار القطرية) (الشكل رقم ٢,١١) ;Childress, et al 1996) Hogeweg, 1998)، وهما جواران مباشران؛ بمعنى أن كل خلاياهما ملاصقة مباشرة للخلية المركزية، أو في شكل قطري للخلية المركزية (سوف نسمى ذلك لاحقاً بالخلية الهدف أو الخلية المستهدفة). وبالرغم من أن هذين الجوارين هما أكثر أشكال الجوار شيوعاً – إلا أن الآلية الخلويّة لا تقتصر على الجوارات المباشرة. وبغض النظر عن كون الخلايا متجاورة أو ممتدة، فإن أهم خاصية، في الحقيقة، للآلية الخلويّة هي أنها تسهّل فرصة دراسة الخصائص والسلوكيات الكبيرة أو الكلية الناتجة من فهم العمليات المحليّة فقط (Theobald and Gross, 1994). ومن ضمن السلبيات الرئيسة في هذه الآليات أو الروبوطات الخلويّة هي تلك السلبيات نفسها التي تشترك فيها معظم بيئات العمل المبنيّة على الخلويّة الشبكية، مثل فرضيات النظامية (Regularity)، والتجانس، والعمومية، والإنغلاق أو الإقفال، وهي فرضيات لا تنطبق بالضرورة على الحياة أو العالم الحقيقي.



الشكل رقم (٢,١١). أكثر جوارين شهرة في تمثيل المكان الجغرافي بالآلية الخلويّة هما، جوار فون نيومان (von Neuman Neighborhood) (يسار الشكل) الذي يتعرف على الخلايا الملاصقة فقط، وجوار مور (Moore Neighborhood) (يمين الشكل) الذي يتعرف على الخلايا القطرية فقط.

إيجابيات المنهجيّة الخلويّة وسلبياتها

تنطلق معظم سلبيات نماذج البيانات الشبكية المستخدمة، أيا كانت، كثيراً من خصائص التقسيم نفسه، أكثر من النموذج المعين الذي تعمل فيه هذه الخصائص. فالسلبيات الرئيسة تتعلق خاصةً بالقصور النسبي في التفصيل أو درجة الوضوح المكانيّة مقارنةً بمثيلاتها الخطّيّة (Vector). ومن منظور التمثيل الخرائطي تحديداً، فإن التقسيمات الخطّيّة تتشابه مع مثيلاتها الخطّيّة بدرجة أكبر بكثير من تشابهها مع الأنواع الخلويّة. ولهذا السبب فإن بعض الناس يرتاح لبيئة العمل الخطّيّة، خاصةً أولئك المهتمين بالإنتاج الخرائطي والذين تكون نمذجتهم أقل تعقيداً أو أكثر بيانيةً (Graphical)؛ أي العمليات المعروفة (التقليديّة) مثل مقارنة الأهداف الخرائطيّة داخل موضوع واحد، أو مقارنة المُخرجات الخرائطيّة. لقد أشار توملن (١٩٩٠م) أن نظم المعلومات الجغرافيّة الخلويّة ذات توجه أو تركيز على الموضع (Position) أكثر من نظيراتها الخطّيّة، التي هي أكثر تركيزاً على الموضوع؛ وذلك لاعتمادها القوي على المضلع كشكل أساس للبيانات. قد يبدو هذا مخالف للتوقعات، إذا علمنا أن النظم الخطّيّة تخصص إحداثيات محدّدة لكل نقطة من النقاط التي تؤلف مع بعضها الخطوط، والمضلعات (المساحات)، والسطوح الأرضية المبنيّة بالشبكة المثلّثيّة غير المنتظمة (TIN). وبالرغم من أن هذا صحيح، فالمكان الوسطي (البيني) بين مجموعة النقاط هو في الواقع مكان ضمني بدلاً من كونه مكاناً صريحاً أو محدّد المعالم؛ إذ لا يوجد تمثيل إحداثي صريح لهذا المكان الوسطي. أما في النظم الخلويّة فلأن كل المكان الجغرافي مغطى بدرجة أو بأخرى بخلايا الشبكة، فإن المكان غير المحسوب هو ذلك المتعلق بالتجزيئ الكمي للمكان الجغرافي المرتبط بحجم الخلية الشبكية، وذلك لكل خلية. أما في النظم الخطّيّة، فالصفات تكون ضمن الأماكن بين أو داخل النقاط التي تمثّل مختلف الأهداف الجغرافيّة، إذ يُفترض أنها منتظمة - إلا إذا رُمّزت بشكل صريح في جداول الصفات الخطّيّة. فعلى سبيل المثال، سوف تمثّل الصفات عموماً بين رابطين (عقدتين Nodes-) على طول شبكة خطّيّة للطرق قيمة واحدة لكل صفة، لهذا يمكن تصنيف حالة طريق على أنه "يحتاج إلى إصلاح"؛ وعليه، فحالة الطريق هذه تبقى أو تنطبق على كامل طول الخط بين العقدتين (أو العقد). ولإظهار أن جزءاً من الطريق لا يحتاج إلى إصلاح فإن المستخدم يُدخِل أو ينشئ عقدة أخرى لتسمح له بتغيير صفاته. ويمكن تفادي هذا القصور في نموذج البيانات الخطي عندما يحتوي البرنامج على شكل آخر من أشكال التجزيئ الديناميكي (Dynamic Segmentation) المُصمم خصيصاً للسماح بالتغييرات على طول الهدف الخطي مثل الطريق. أما في النموذج الخلوي، فالطريق عبارة عن سلسلة من الخلايا الشبكية التي يمكن أن تُغير صفاتها على طول امتداد الخط بسهولة من خلال تخصيص قيم مختلفة للخلايا من قبل المستخدم. لهذا فالطريق يمكن أن يتراوح من "لا يوجد إصلاحات ضرورية" إلى "إصلاحات بسيطة ضرورية" إلى "إصلاحات ضرورية"، وعليه يمكن تخصيص قيمة (١) لتشير إلى أنه لا حاجة للإصلاحات، و(٢) للإصلاحات البسيطة، و(٣) للإصلاحات الكبيرة.

ربما يعد المضلع أسهل طريقة لتصور فرضية توملن القائلة بأن النماذج الخلويّة مركزة على الموضع والنماذج الخطّيّة أكثر تركيزاً على الموضوع. ففي نظم المعلومات الجغرافيّة الخطّيّة يمثّل المضلع بمجموعة من الخطوط المحيطة، كل منها محدّد بزوج من الإحداثيات. لا يوجد كيانات أخرى تحدّد المضلع نفسه، أما صفاته فتُخصص بانتظام أو تماثل على كامل الحيز المكاني المحاط. يمكن أن يمثّل المضلع نوعاً من استخدام الأرض، أو فئة من الزراعة، أو نوعاً من التربة، وهذا لا يترك مجالاً لحساب التنوع الداخلي أو لتحديد حدوده البينية. تستطيع نماذج البيانات الخلويّة أن تشمل مدى من القيم التي تبيّن كل من التنوع الداخلي وحدوده عند الضرورة. فعلى سبيل المثال، يمكن أن يُشار إلى مضلع خاص باستخدام الأرض بالنموذج الخلوي بقيم تتراوح بين (١) و(١٠) لتعبّر عن كثافة الاستخدام. كما أن مفهوم الإقليم الجغرافي يمكن توضيفه، هنا، بسهولة؛ لأنه يسمح للمضلعات ذات النوع الواحد فقط من استخدام الأرض أن تشمل التنوع الداخلي، ومع ذلك تبقى جزءاً من فئة إقليمية أكبر. فالمضلعات الخاصة بالتربة الممثلة بخلايا شبكية تعطي، أيضاً، مجالاً للإدراك بأن داخل أي نوع معطى من التربة يمكن أن يكون هناك مدى أو تفاوت في قوام التربة، وقلويتها، وأعماقها، وغيرها من القيم المهمة لعالِم التربة، أو عالِم الزراعة، أو المهني المختص بالبيئة.

بناءً على فكرة توملن هذه، فقد بين توملن أن هذه النماذج تعد أكثر فائدة في الإجابة على السؤال "أين"، في حين أن التقسيمات الخطّيّة أكثر ملاءمة للإجابة على السؤال "ماذا". وبالرغم من أن هناك حالات فردية لا تكون هذه الفكرة فيها صحيحة – إلا أن الفكرة تنطبق بشكل عام على معظم التطبيقات. ربما بسبب الاستثناءات من القاعدة العامة – أي فكرة ملاءمة النماذج الخلويّة للإجابة على السؤال "أين"، قد تبدو فكرة التركيز على الموضع غير منطقية، لكن قد تبرهن بعض الأمثلة السريعة على أن فكرته صحيحة تماماً. ولأن المضلعات تُعد أكثر الأهداف سهولة في فهم هذه الفكرة، فسوف أحصر أمثلتي البسيطة في هذه الأشكال. أكثر من ذلك، ولأن تركيزنا، هنا، على النمذجة بنظم المعلومات الجغرافيّة الخلويّة فإني سوف أركّز على الاستفادة من التقسيم الخلوي للإجابة على بعض أسئلة "أين". فلنقل أنك تريد أن تستخدم نظم المعلومات الجغرافيّة لفحص نتيجة استعمال المخصبات على محاصيلك الزراعية لتحسين الإنتاج. في نظام المعلومات الجغرافيّة الخطي، سوف تمثّل محصولك، في الغالب، بمضلع واحد، وقد تحسن ذلك من خلال إنشاء مضلعات تبيّن، على سبيل المثال، توفُّر المواد المغذيّة للتربة. سوف تعطي المضلعات، في معظم الأحوال، مدىً معينا من التدرج؛ أي مدىً يبيّن التنوع داخل المضلع الواحد. أما في التمثيل الخلوي لبيانات مغذيات التربة، فإنه، في الغالب، سوف يشير إلى تغير متدرج لتوفُّر هذه المغذّيات، بحيث إن كل خلية تحتوي على قيمة خاصة بها. يُظهر التمثيل الخلوي تفاصيل كثيرة حول التنوع المكاني للمغذيات في حقلك أكثر ممّا يظهره التمثيل الخطي. سوف يساعدك هذا في أن تحدّد بالضبط أين (في الحقل نفسه) يمكن أن تكون الكميات الأكبر الزائدة أكثر فاعليّة، وأين بالضبط (في الحقل نفسه) تكون الحاجة لوضع مخصبات أقل؛ لهذا فالنموذج

الخلوي يقدم لك مجالاً واسعاً من الخيارات. علاوةً على ذلك، فإن طبيعة التغير التدريجي للتمثيل الخلوي قد يثبت فاعليته في تحديد الاتجاهات أو النزعات العامة (Trends) لتوفر المواد المغذية التي قد تكون مرتبطة بالانحدار أو بعوامل أخرى. ومن الممكن، أيضاً، أن تكون هذه المعلومات الإضافية مفيدة في التخطيط المستقبلي لزراعة المحاصيل وتحسينها، وربما اقتراح عمل مصطبات زراعية ثانوية.

وكمثال آخر على كيفيّة التعامل بسهولة مع السؤال "أين" بالنظام الخلوي مقارنةً بالنظام الخطي، هو عند التعامل مع حركة الأشياء سواء عبر السطح أو ضمن الطبقات السطحية السفلية. فنمذجة التدفق (أو الحركة) مثلاً، تُنفذ بالنموذج الخلوي بسهولة أكبر من النموذج الخطي. لنقل على سبيل المثال، أنك تحاول أن تفحص حركة الملوثات التي تتدفق من مصادر متعددة، ربما من الحقل الذي أضفنا عليه المخصبات إلى مجاري الأنهار القريبة. إن الأسئلة الأساسية المطروحة، هنا، هي من أين يأتي الملوِّث، وأين يذهب، وكم الكمية التي تصل هناك؟ ولأن شكل حقلنا ليس منتظماً في جميع أنحاءه، ولأن الطبقة السفلية ليست منتظمة في قدرتها على نقل المخصبات المذابة، فإن التمثيل الخلوي سوف يساعدنا في تقدير هذا السطح الداخلي والتنوع في السطح السفلي.

ومثلما يمكن أن تتصور من هذا المثال الأخير، فإن أي نوع من النمذجة التي تتطلب حركةً عبر كامل الشبكة، سواء كانت هذه الشبكة تمثّل سطحاً ظاهرياً أو سفلياً، أو حتى أحوالا جوية، يمكن تنفيذها بنظم المعلومات الجغرافيّة الخلويّة بفاعليّة كبيرة. إن هذه المهمات مثل التنبؤ بحركة عوادم الغازات الخطرة الناتجة من التسربات الكيميائية المضرَّة، وحركة الزيت المتسربة من سفن النقل، وآثار أحزمة الصد على تقليل أو الحد من التعرية أو الانجراف، وتشتت بذور الأشجار بفعل المطر، وحركة الحيوان على سطح الأرض، بل وحتى تصميم مزارع تربوينات الهواء (الرياح)، تستلزم كلها طريقة معينة قادرة على التحديد الكمي للاختلافات الناتجة من التغير من مكان إلى آخر. تتطلب نمذجة هذه التغيرات منا أن نعرف أين يكون التنوع وكيف يمكن ترجمة ذلك إلى تنبؤات للمكان الذي سيؤول إليه هدفنا أو ظاهرتنا قيد النمذجة في نهاية المطاف.

هناك بالطبع فوائد أخرى للنمذجة بنظم المعلومات الجغرافيّة الخلويّة، كثير منها تنبثق من التوفر المتزايد للأشكال الخلويّة الخاصة بالأقمار الصناعية والتصوير الجوي والصور الملتقطة أرضياً عن بعد. وبالرغم من أن هناك خوارزميات وافية متاحة تساعدنا في التحويل من النموذج الخلوي إلى الخطي، أو العكس -إلا أن السهولة في إدخال بيانات الاستشعار عن بعد الخلويّة في نظام معلومات جغرافيّة خلوي يجعل هذا هو الخيار الأسهل من قبل المنمذجين. وينطبق هذا بشكل خاص في حالة تحديث البيانات الوصفيّة دورياً في قاعدة البيانات من خلال استخدام بيانات الاستشعار عن بعد. وتستخدم هذه الطرائق في التحديث وتحليل التغير الزمني، في معظم الأحوال، شكلاً من أشكال منهجيّة التطابق الخرائطي. وبالرغم من أن المطابقة الخرائطيّة بالنموذج الخطي متوفرة بسهولة - إلا أن المنهجيّة الخلويّة تتفوق على نظيرتها الخطّيّة في بعض المميزات، وذلك في: أولاً، أن المطابقة الخلويّة عادةً ما تكون

أسرع حاسوبياً من الطريقة الخطّيّة، خاصة عند استخدام نموذج البيانات الخلوي البسيط بدلاً من الموسع؛ ثانياً، هناك عدد من طرائق المطابقة الرياضيّة التي يمكن تطبيقها بسهولة بالنموذج الخلوي مقارنةً بالنموذج الخطي؛ وأخيراً، يتخلص التقسيم الخلوي من بعض المشكلات في المطابقة الخطّيّة المتعلقة بشظايا المضلعات، وهي المضلعات الصغيرة جداً التي لا تعكس بشكل صحيح مواقع الصفات. وفي قواعد البيانات الخطّيّة المعقدة، وعندما تُنفذ المطابقة، فإن المستخدم يجب أن يكافح كي يتخلص من أعداد هذه المضلعات الهائلة الناتجة من العمليّة. والمشكلة الأساسية تكمن في التأكد من أن هذه الشظايا تمثّل في الواقع تغيراً حقيقياً أو أنها نتاج لعنصر الخطأ المكاني في مجموعات البيانات الخطّيّة.

تذكر أنه بالرغم من أن النموذج الخلوي له بعض المزايا مقارنةً بالنموذج الخطي، خاصةً تلك المتعلقة بالمطابقة الخرائطيّة - إلا أن هناك في المقابل بعض المشكلات المزعجة التي يدخلها التقسيم الخلوي، أيضاً، في هذه العلمية. فبالرغم من أن مطابقة خليتين من طبقتين مختلفتين سوف ينتج عن ذلك، في الغالب، قيمة واحدة دون شظايا مضلعات غير مرغوب فيها -إلا أن الصحة الداخلية للخلية تثير التساؤل حول صلاحية البيانات. فلأن كل خلية تحتوي على معدل ما أو قيمة مكانيّة معمّمة من خلال عمليّة التجزيئ الكمي للمُدخلات، فإن نتائج المقارنة ليست دقيقة دائماً. وبكلمة أخرى، فبالرغم من أن فحص عمليّة المطابقة الخلويّة عادةً ما تكون أسهل للمفسِّر - إلا أن النتائج لن تكون أكثر صحة، بأي حال من الأحوال، من حيث تحديد الأصح من القيم الناتجة. لكن ستثبت المطابقة الخلويّة، على أي حال، فائدتها الأكبر في فحص مكان حدوث التغير، في معظم الأحوال. ومن ضمن أكثر العيوب المقررة سلفاً حول النموذج الخلوي مقارنةً بالنموذج الخطي، ضعفه في النواحي الجمالية (بالمعنى الخرائطي)، وعِظَم حجم قواعد البيانات، خصوصاً عند تخزين الخرائط بنظم المعلومات الجغرافيّة الخلويّة، والكلفة الحسابيّة الناتجة من إجراء ت العمليات على مثل هذه المجموعات الكبيرة من البيانات. لقد درست الجهود البحثية في مجال النمذجة الخلويّة هذه المشكلات بشيء من التفصيل، خاصةً تلك المتعلقة بمشكلات التطبيق المحتملة الخاصة بحجم قاعدة البيانات (Williams, 1985). كما إن التطورات الحديثة حسّنت في التقنية الحاسوبية، خاصةً مع الزيادات التي طرأت على حجم أجهزة التخزين، وعلى برمجيات ضغط البيانات، وزيادة سرعات المعالج، وتقليل المشكلات المرتبطة بكل من التخزين وسرعة التحليل المطبّقة على قواعد بيانات نظم المعلومات الجغرافيّة الخلويّة. ولقد سمحت هذه التحسينات، أيضاً، بتطوير مجموعات بيانات أكبر حجماً، وأكثر واقعيةً، وأن تُخزّن، وتُحلّل، مع العلم إن الخلية أصبحت، في نفس الوقت، أصغر حجماً. ولنضرب مثالاً واحداً فقط، فتقنيات الاستشعار عن بعد ستكون متوفرة بسهولة بدرجات وضوح في حدود المتر الواحد. إن لحجم الخلية المصغر تأثيراً إيجابياً على المُخرجات، حيث تظهر وقد تخلصت كثيراً من المظهر التجميعي، مقارنةً بمجموعات البيانات القليلة التي تتميز بكبر الخلايا في فترة التسعينات. وفي الحقيقة، تظهر كثير من البيانات الخلويّة اليوم ذات درجات الوضوح العالية أكثر

تفصيلاً من الناحية الجمالية حتى مع مقارنته بمثيلاتها الخطي؛ وذلك تبعا لقدرتها في توضيح التغيرات التدريجية والتنوع في الصفات. وباختصار، فبالرغم من أن قواعد البيانات الخلويّة تستحوذ على مساحة أكبر وتتطلب قوة حاسوبية ضخمة، خاصةً للبرمجيات المتقدمة كثيراً المتعلقة بالحركة أو الإنسيابية -إلا أن مرونة قدراتها النمذجية وقوتها تتجاوز كثيراً سلبياتها.

مصادر البيانات

من الأمور التي تم الاعتراف بها على نطاق صناعي واسع تقريباً، هو أن جزءاً كبيراً من الكلفة في تنفيذ عمليات نظم المعلومات الجغرافيّة يأتي من تحويل الأشكال التقليديّة للبيانات والمعلومات المكانيّة إلى بدائلها الرقميّة. وليست هذه المقولة بالتأكيد أقل صحة في حق البيانات الخلويّة من البيانات الخطّيّة. لقد بحثنا حتى الآن في البيانات الخلويّة في أطر عامة تقريباً، عدا بيانات الاستشعار عن بعد الرقميّة. ومن الأمور المسلم بها كثيراً، أن معظم بياناتك ستكون مُدخلة من الخرائط التقليديّة من خلال شكل ما من أشكال عمليّة الترقيم، وهي - إلى حد كبير - أبطأ عمليّة وأكثر إجهاداً لجمع البيانات في نظم المعلومات الجغرافيّة الخلويّة، لكنها تسمح لك بتحكم أكبر في نوعية البيانات المُدخلة وقابلية تطبيقها. وإذا كانت المشكلة هي الوقت، فإن هناك، على أي حال، العديد من مجموعات البيانات الخلويّة ذات الجودة العالية التي أصبحت متوفرة من خلال المنظمات المحليّة والوطنية حول العالم، إذ تخزّن بعض المنظمات أو الهيئات الحكومية كميات ضخمة من البيانات الرقميّة، خلوية وخطّيّة، بل أصبح هناك صناعة جديدة كاملة تعنى بإنشاء وتوفير بيانات خام للشراء ذات قيمة نوعية مضافة، خاصةً في تجهيزها حسب الطلب. وبالرغم من وجود بعض القضايا المؤسساتية التي يجب أن تُطرح قبل الحصول على مثل هذه البيانات، فإني أحيل القارئ إلى مراجع أخرى تعالج هذه القضايا بدلاً من طرحها هنا (Chrisman, 1997; DeMers, 2000a). وبدلاً من ذلك، سأركز على بعض أنواع بيانات نظم المعلومات الجغرافيّة المتوفرة بسهولة، وبعض مصادرها، ومصادر البيانات الموصى بها لتطبيقاتك.

ومثلما قد تتوقع، فهناك العديد من أنواع البيانات الخلويّة التي يمكن الحصول عليها، إضافةً إلى توفر العديد من الأشكال أو الأنساق (Formats) والمصادر العديدة لهذه البيانات. تشمل هذه الأنواع من البيانات، بيانات الاستشعار عن بعد الرقميّة التجارية التي تمثّل خلاياها عناصر الصورة (عنصورات Pixles)، والصور الممسوحة (Scanned Images) مثل مربعات الصور الجوية المصححة (Orthophotoquads)، وبيانات الغطاء الأرضي والاستخدام الأرضي (Landuse/Land Cover -LULC)، والرسوم البيانية الخلويّة الرقميّة (Digital Raster Graphics –DRGs)، ونماذج الارتفاعات الآلية أو الرقميّة (DEMs)، وبيانات قائمة جرد الأراضي الرطبة الوطنية الأمريكية (NWI). ولقد بدأ عدد من وكالات البيانات (Clearinghouses) مؤخراً بجمع وتوزيع وتبادل بيانات نظم المعلومات الجغرافيّة على

مستويات إقليمية ووطنية. بل إن بعض المنظمات الحكومية قد دعمت أنواعاً مشابهة من هذه الوكالات المهتمة بالتطبيقات البحثية على البيانات لتحديد فائدتها لأنواع مختلفة من بيئات العالم الحقيقي. ويستمر ظهور مثل هذه الوكالات، إما لبيع بيانات خام، وإما بيانات ذات قيمة مضافة لنظم المعلومات الجغرافيّة، أو بغرض تبادل البيانات بين الأفراد والمؤسسات المعنية بتشارك البيانات. وتحاول بعض هذه الشركات الخاصة أن تجعل تكاليف البيانات الرقميّة في أقل المستويات من خلال طلب المستخدمين أن يوفروا مجموعات البيانات التي أنشأوها بأنفسهم مجانا، أو مقابل مجموعات بيانات أخرى موجودة عند هذه الشركات. وتعد شركة: GISDataDepot مثالاً للشركات الكبيرة التي تعمل في هذا الإطار، إذ تظهر دلائل نجاحاتها من خلال تزايد مجموعات البيانات الكبيرة على المستويات الإقليميّة والمحليّة والعالمية. ولا يزال هذا المنهج جديدا لمقدمي البيانات التجارية. وتتقاضى الكثير من الشركات الخاصة بتبادل البيانات الرقميّة، في معظم الأحوال، أجوراً عالية في الوقت الذي تكون هذه البيانات متوفرة بأقل من ذلك كثيراً عندما لا تكون ذات قيمة مضافة (خاصة) لنظم المعلومات الجغرافيّة. ولقد بدأت الهيئات المحليّة الحكومية والاتحادية والإقليميّة بالتكاتف حول جمع البيانات الأساسية لزبائنها المحتملين. وتطور المساحة الجيولوجية الأمريكية حالياً في الولايات المتحدة الأمريكية -من خلال مؤسستها المعروفة بالبنية التحتيّة للبيانات المكانيّة الوطنية (NSDI)- وكالةً للبيانات الأرضية الوطنية (NGDC). وتقوم فكرة هذا التنظيم حول إنشاء مجموعة من المراكز الموزعة، مرتبة تحت أربعة مواضيع: معلومات الموارد الأحيائية؛ والمعلومات الجيولوجية؛ والمعلومات الخرائطيّة الوطنية؛ ومعلومات الموارد المائية. ولقد نتج عن هذا مجموعة من وكالات البيانات على مستوى الولايات لخدمة كل ولاية على حدة وللدولة. كما يتم استحداث برامج مشابهة في كندا، فعلى سبيل المثال، قامت الحكومتان الإقليميتان لكل من منطقتي البرتا وبريتش كولومبيا بتحديد طريقة لتطوير وتنفيذ مجموعات بيانات لهذه المناطق تتعلق بقائمة الموجودات الغابية.

تتوفر البيانات الحكومية، عادةً، لأقاليم كبيرة من العالم، وبتكلفة معقولة، وعادةً ما تكون مصدراً جيداً للغاية لبيانات خرائط الأساس (Kemp, 1993). وعلى أي حال، فالتكلفة القليلة والتغطية المساحية الكبيرة يقابلها أحياناً قلة في جودة البيانات من ناحية الصحة وكذا فائدتها الزمنية. كما أن توفر هذه البيانات الحكومية يتفاوت، إذ أنها عادة ما تكون متوفرة بشكل عام وذات تغطيات مساحية كبيرة على المستوى الاتحادي (الفيدرالي). وفي الولايات المتحدة الأمريكية، يعد الدليل الإرشادي لمنتجات البيانات الجغرافيّة الاتحادية (FGDP) نقطة بدء جيدة، إذ أن معظمها متوفر على الشبكة العنكبوتية العالمية (WWW)، في موقع لجنة البيانات الجغرافيّة الاتحادية (FGDC) (1992). سوف يوفر هذا موردا لكثير من البيانات المأخوذة من مصادر مختلفة مثل مصلحة الإحصاءات؛ وخدمة حماية الموارد الطبيعية؛ وإدارة الفضاء؛ والملاحة الجوية الوطنية (NASA)؛ وهيئة إدارة الطوارئ الاتحادية؛ ومصلحة إدارة الأراضي؛ وغيرها مما تم ذكره سابقا. توفر صفحة المساحة الجيولوجية الأمريكية (USGS) على

الإنترنت الخاصة بمنتجاتها من الأبحاث والبيانات فهرساً للبيانات المتوفرة، وتشمل تلك المدرجة من قبل هيئة البيانات الجغرافيّة الاتحادية. وتوفر هيئة البيانات الجغرافيّة الاتحادية، أيضاً، مجموعة كبيرة من المنتجات الرقميّة لتسجيل معلومات بياناتك (Metadata)، بحيث يكون للمستخدمين في المستقبل فهماً واضحاً لطبيعة البيانات التي يستخدمونها في العمل من حيث نوعيتها، وصحتها، وتسلسلها. سوف نناقش فيما بعد معلومات البيانات عندما نتحدث عن الخطأ في نظم المعلومات الجغرافيّة. ومع ذلك، تفرز البيانات الحكومية المتوفرة على المستويات المحليّة أو الإقليميّة أو الوطنية بعض المشكلات المتفردة في عمليّة الحصول عليها. ففي كثير من الحالات، لا تكون البيانات التي تم إنشاؤها وتخزينها وتوزيعها في أشكال أو أنساق متوافقة مباشرة مع احتياجاتك الخاصة. بالإضافة إلى ذلك، فإن توفرها يمكن أن يختلف حسب الإجراءات المؤسساتية للوكالات المتعلقة بالتوزيع، وحسب حساسية بياناتهم، بل وحتى حسب رغبة الموظفين في هذه الهيئات في تقديم البيانات. وقد يكون صعباً في كثير من الحالات أن تحدّد أين يوجد نوع محدّد من البيانات في داخل الجهة الحكومية. وقد يتطلب الحصول على بيانات من هذه الوكالات تطوير علاقات عمل مع الموظفين أنفسهم. قد يستلزم هذا توظيف جزء كبير من الوقت، لكن مثل هذا التوظيف يثبت فائدته مع الأيام لك شخصياً، ولمقدمي البيانات الذين قد يشتركون معك في الاحتياجات النمذجية.

لقد أصبحت المصادر التجارية للبيانات أكثر انتشاراً مع زيادة الطلب على البيانات الجغرافيّة. وقد يمتلك موفرو البيانات صلاحية الوصول إلى بيانات حكومية ذات قيمة مضافة (خاصة بالنظم)، أو بيانات أنتجها زبائنهم أنفسهم، أو بيانات أُنتجت داخل مؤسساتهم لخدمة مشروعاتهم الخاصة. قد لا يمانع ممثلو الشركات الخاصة - وهذا حسب طبيعة الشركة وعلاقاتها مع الزبائن الآخرين - في توفير البيانات لك مباشرة، وقد يسمحون لك بالاتصال مع زبائنهم للحصول على البيانات. وسوف يكون مقدمو البيانات، في كثير من الأحيان، قادرين على أن يوفروا خدمات تحويل البيانات من أشكال تقليدية إلى أشكال متوافقة مع البيانات الرقميّة. ومن الطرائق الفعالة في تحديد مقدمي البيانات، الاتصال بمن يوفر لك برامج نظم المعلومات الجغرافيّة، فهم يعرفون، في الغالب، موفري البيانات الأكثر شهرة، إذ عادةً ما يكون بينهم علاقات عمل مهنية.

وبالرغم من أن لاستخدام البيانات المتوفرة محاسن واضحة؛ ذلك كونها لا تتطلب تكلفة ولا وقت في التحويل -إلا أن هناك أشياء مهمة يجب أخذها في الاعتبار عند التفكير في استخدامها. أولاً، لا يعني توفر البيانات أنك في حاجة لأن تستخدمها، فإذا لم تكن البيانات تلك هي ما تحتاج بالضبط في النمذجة فلا تستخدمها. ثانياً، بالرغم من أن بعض البيانات متوافقة تماماً مع تطبيقك - إلا أن كثيراً منها غير ذلك. فعلى سبيل المثال، قد تختلف خصائص درجة الوضوح، والمسقط، ومنطقة الدراسة، والتصنيف، وغيرها من خصائص البيانات الأخرى كليا عما قد اعتقدت أنه ملائم لاحتياجاتك النمذجية. لا تدع البيانات هي التي تحدّد نموذجك. ثالثاً، حتى لو بدت خصائص البيانات ملاءمة لاحتياجاتك، فإنه من المهم أن تعرف جودة وتسلسل البيانات، وإذا لم يكن لديك تحكماً في الجودة، فإنك بذلك تعرّض نتائج نموذجك للخطر. كما أنه يأتي مع بعض البيانات القليل من التوثيق.

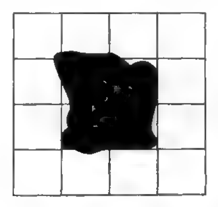
عليك أن تتوقع اليوم أنه يجب أن يكون لديك شكلاً ما من أشكال تقييم الجودة النوعية ومعها توصيف كامل لمحتويات الملفات، وكيف تم توليفها، ومصادرها، وما هي الطرائق التي اُستخدمت في تقييم الجودة. ويتوفر، في الغالب، مع البيانات الضخمة تقريراً وذلك في شكل نشرة منفصلة، عادة ما يطلق عليها معلومات البيانات (Metadata) التي تشمل قاموساً مفصلاً للبيانات. يوجد برامج متعددة المصادر على الإنترنت، توفر طرائق جيدة وواضحة حول تأليف معلومات البيانات، وتتوافق مع ما حدّدته لجنة مواصفات البيانات الجغرافيّة الاتحادية (FGDSC). قد تُجبر في حالة عدم حصولك على توثيق كامل للبيانات، على إنشاء التوثيق الخاص بك من مصادر البيانات التقليديّة. ويشير هذا بالطبع إلى أن حاجتك في تنفيذ تحويل البيانات بنفسك تكمن أساساً في ضمان ضبط الجودة. وما زال هناك سبب آخر وجيه لهذا التحويل، وهو التنوع الكبير في أشكال البيانات، فقد يتطلب كل واحد منها تحويلاً من شكل إلى آخر، وقد يقود هذا إلى احتمالية حدوث خطأ غير متوقع في البيانات. لكن لتحويل بياناتك الخاصة مخاطره الخاصة، أيضاً، خاصةً ما يتعلق بالوقت الكبير الذي تتطلبه عمليّة التحويل، والتكاليف الضخمة المرتبطة بهذه العلمية. كما قد توفر لك تجربة تحويل جزء من بياناتك معلومات مفيدة حول مقدار الوقت المطلوب، والتكاليف المترتبة على ذلك، والوثوقية في كفاءة البرنامج لإخراج نتائج ذات جودة تفوق ما هو متوفر مسبقاً في شكل رقمي. وفي النهاية، يجب أن يُتخذ القرار في إنتاج قاعدة بيانات رقميّة خاصة بك بناءً على معرفة تامة بالبيانات الضرورية لمشروعك، والبدائل الرقميّة، وتقييم تام لقدراتك التحويلية. وإذا قررت - بطبيعة الحال - أن تنشئ قاعدة بياناتك، فإنك يجب أن تنشئ، أيضاً، مجموعة مفصلة من معلومات البيانات لاستخدامك الداخلي الخاص بك. هذا أمر مهم خاصةً إذا كانت البيانات سوف تُستخدم في مشاريع طويلة الأجل، أو أنها سوف تُباع لمستخدمين آخرين لنظم المعلومات الجغرافيّة.

اختيار الخصائص: حجم الشبكة، ومنطقة الدراسة، ونسق البيانات، والمسقط، ونظام الشبكة الإحداثي

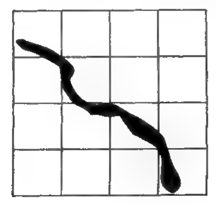
أصبحت برامج نظم المعلومات الجغرافيّة الحديثة متطورة جداً. ولم تعد هذه البرامج الحديثة مقيدة بنظام الإحداثيات الكارتيزي، إذ تسمح بإدخال العديد من نظم الإحداثيات والمساقط ومعالجتها. أيضاً -وكما رأينا سابقاً - فإن توفر المعالجات الحاسوبية الأسرع وأدوات التخزين الكبير قد قلل الحاجة إلى القلق المفرط حيال قواعد البيانات، سوى أعظمها حجماً. ومع ذلك، فإن هذه القدرات سوف تؤثر على كل من توفر مجموعات بيانات نظم المعلومات الجغرافيّة، وصحتها، وقدرتك في النمذجة بها، وجودة مخرجها النهائي.

تعد درجة وضوح الشبكة من ضمن القرارات الرئيسة التي يجب تحديدها عند إنشاء قاعدة بيانات بنظم المعلومات الجغرافيّة الخلويّة. وبالرغم من أن مثل هذه القرارات كانت مرتبطة إلى حد كبير بحجم قواعد البيانات وقدرة البرنامج في التعامل مع مجموعات البيانات الكبيرة (Williams, 1985) - إلا أن درجة وضوح الخلية تعد اليوم أكثر ارتباطاً بالاحتياجات النمذجية. إذن، ما الذي يحدّد حجم خلية الشبكة لمشروع نمذجة معين؟ إذا كانت خلايا

الشبكة ذات بعد واحد، فإن نظرية أخذ العينات (Shannon and Weaver, 1949) تفرض أن يكون حجم الخلية نصف حجم أصغر هدف مطلوب التقاطه أو تمثيله (أي، وحدة التمثيل الصغرى Minimum Mapping Unit). غير أن خلايا الشبكة هي في الواقع ذات بعدين، وعليه فإن الخلايا يجب أن تكون - في الأغلب - ربع حجم وحدة التمثيل الصغرى. وفي هذه الحالات، سوف يسمح هذا على الأقل بأربع خلايا لكل هدف مطلوب تمثيله (الشكل رقم ٢,١٢). هذه قاعدة عامة يمكن استيعابها بسهولة، وتبدو منطقيّة تماماً. وإذا كانت الأهداف الممثلة طويلة، أو مضلعات متعرجة على سبيل المثال، فإن إستراتيجية التمثيل البسيطة هذه يمكن أن تحذف أهدافا معينة من قاعدة البيانات (الشكل رقم ٢,١٣). هذا يشير إلى أنه يجب أخذ الحيطة عند استخدام هذه النظريّة في تحديد حجم الخلية.



الشكل رقم (٢,١٢). أخذ عينة لأهدافك بالخلايا الشبكية. يجب أن يكون هناك أربع خلايا على الأقل للسماح بتمثيل أصغر هدف بحيث يستطيع نموذجك تنفيذ تحليله في نظام المعلومات الجغرافية.



الشكل رقم (٢,١٣). بالرغم من أن الطرائق البسيطة في تحديد عدد الخلايا التي يجب استخدامها لتمثيل أصغر وحدة تمثيل تعد فعالة للأهداف المتجمعة – إلا أن الأهداف الطويلة والمتعرجة تتطلب أكثر من أربع خلايا لتمثيلها.

هناك طرائق أخرى يمكن تطبيقها في اختيار حجم خلية الشبكة. ومن أشهر هذه الطرائق طريقة التوفيق بين أحجام الخلايا الشبكية مع أحجام العنصورات (البكسلات) في بيانات الاستشعار عن بعد الرقميّة التي سوف تستخدم في النموذج. لكن – وبشكل عام – ليست فكرة جيدة أن تدع حجم البكسل يقيِّد جودة نموذجك، أما إذا كان معظم نموذجك يدور حول تلك البيانات (بيانات الاستشعار عن بعد)، وإذا كانت درجة وضوح البكسل مقبولة من ناحية أخرى لنموذجك، فإنها تعتبر حلاً سريعاً عملياً.

تعد حساسية النموذج لحجم الخلية خطوة أولى ضرورية في هذه الحالة، وقد تشير إلى ضرورة عمل نموذج فحص تجريبي بسيط لكيفيّة عمل النموذج مع أحجام مختلفة للخلية (DeMers, 1992). ومن المنهجيات المميزة في اختيار حجم الخلية للنمذجة بنظم المعلومات الجغرافيّة الخلويّة، والذي يأخذ في الاعتبار المقاييس الحقيقية التي تتفاعل عندها البيانات في النموذج مع بعضها، هي النظريّة الهرميّة (King, 1991). وتتطلب مثل هذه المنهجيات معرفة تفصيلية حول طبيعة البيانات والنموذج نفسه. وعليه، يجب أخذ حجم الخلية في الاعتبار بغض النظر عن أي طريقة تُستخدم لهذا الغرض. ويتصل بحجم الخلية، أيضاً، مساحة منطقة الدراسة؛ إذ أنه حتى مع أكثر الحواسيب قوة، فإنك لن ترغب في استخدام حجم خلية بمقدار (١) متر إذا أردت أن تجري عمليّة نمذجة لأستراليا. ومن أكثر القضايا اهتماماً، العلاقة بين الأبعاد المساحية لمنطقة الدراسة وأنواع الوظائف النمذجية التي ستُستخدم. هذا الأمر مهم خاصةً عند استخدام نوع معين من الاشتقاق أو الإدارج البيني (Interpolation)، إذ ينصح في هذه الحالة بأن تمتد منطقة الدراسة إلى ما بعد المساحة الحقيقية للمكان المراد دراسته؛ ذلك بهدف أن يكون لخوارزمية الاشتقاق من البيانات ما يكفي لتنفيذ عملياتها. وبعد أن تكتمل العملية، يمكن اقتطاع الاشتقاق وضمّه مع باقي البيانات في قاعدة البيانات (DeMers, 2000a). غير أن الإستثناء الأساس في هذه الطريقة هو عندما يكون الحد الخارجي لمنطقة الدراسة حدا نهائيا، كما هو الحال في حدود الجزيرة. لقد تزايد التوافق بين أشكال البيانات مع بعضها بعد إدراك فائدة البيانات المتوافقة من قِبل موفري البيانات، وبائعي البرامج، والمستخدمين. ولا تختلف مجموعات البيانات الخلويّة عن مجموعات البيانات الخطّيّة في كونها تأتي في أنساق مختلفة، كل واحدة منها قد تكون متوافقة بدرجة معينة مع الأنواع الأخرى. وتختلف هذه الأنواع سواء كانت أشكال صور ناتجة من عمليات المسح الضوئي (مثل ملفات JPEG، أو GIF، أو بيانات الاستشعار عن بعد)، أو تلك الناتجة من عمليات الترقيم، أو كانت أشكالاً متنوعة أخرى خاصة بنظم المعلومات الجغرافيّة الخلويّة – سواء كانت خلوية بسيطة أو موسعة – بالإضافة إلى البيانات التي تم تحويلها من شكل خطي إلى آخر خلوي. ولقد وفر تطبيق مواصفات تحويل البيانات المكانيّة (SDTS) نوعا من التنظيم لمجموعات البيانات التي تُدعم مصادرها من المدخرات الاتحادية للولايات المتحدة الأمريكية، لكن ما يزال هناك العديد من الأنواع والمصادر المختلفة. وبدلاً من محاولة حصر قائمة بكل أنواع البيانات المتوفرة، والتي خارج اهتمام هذا الكتاب، فإني ببساطة أتركك بهذا التحذير: اعرف أنواع البيانات التي يدعمها برنامجك، خاصةً تلك

التي يمكن استيرادها واستخدامها. عادةً ما تكون هذه الأنواع متوفرة في وثائق برنامج نظم المعلومات الجغرافيّة، لذا يجب الرجوع إليها قبل اختيار البيانات التي ستستخدمها في مشروعك. كما يجدر الأخذ في الاعتبار قدرة برنامجك على تصدير البيانات إلى أشكال أخرى. ويوجد، في الغالب، بعض الحالات التي يمكن أن يكون لديك برنامج معين لا تستخدمه في الغالب للنمذجة، لكنه يعد مثاليا لبعض المهام المعقدة أو المميزة. وإذا احتجت أن تصدِّر مواضيع خلوية مختارة إلى هذا البرنامج، فإنك سوف تحتاج إلى معرفة متطلباته المتعلقة بتوافق البيانات. ويحدث هذا، في الغالب، في عمليات نظم المعلومات الجغرافيّة التي تحتاج إلى مجموعات حزم متقدمة من نظم المعلومات الجغرافيّة والاستشعار عن بعد المتوفرة، خاصةً عندما تتطلب عقود العمل أو أنشطة استشارية معينة العديد من البيئات التشغيلية، والنظم البرامجية، وأنواع البيانات.

وما يقال عن أنواع البيانات ينطبق، أيضاً، على نظم الإحداثيات الشبكية ومساقط الخرائط. وبالرغم من أن برامج نظم المعلومات الجغرافيّة والاستشعار عن بعد قادرة على التحويل من مسقط لآخر ومن نظام إحداثي شبكي إلى آخر - إلا أن هذه العمليات تقود، عادةً، إلى خطأ غير مرغوب فيه في قاعدة بياناتك نتيجةً لخطأ تدوير الأرقام الحاسوبية أثناء العمليات الحسابيّة لهذه التشكيلات الجديدة. لقد بيّن كل من بارا وماكدونيل (1998) بوضوح أنه كلما كثر تكرار هذه العمليات، زادت إمكانيّة تراكم هذه الأخطاء الصغيرة إلى درجات متباعدة من الفروق. تجري معظم برامج نظم المعلومات الجغرافيّة تحليلاتها على مسقط خرائطي واحد (Wang, 1999)، أو تحول البيانات إلى إحداثيات جغرافيّة (خطوط طول ودوائر عرض) بغرض التحليل. فإذا اشتملت قاعدة بياناتك على مساقط متعددة ونظم إحداثيات شبكية متعددة، فإنها سوف تُحول بالضرورة للتحليل. وكلما كانت التحليلات أقل، قلّت فرصة حدوث الأخطاء الحسابيّة التي تتسلل إلى نماذجك.

التعامل مع مركبّة الخطأ في البيانات الخلويّة

لا يوجد قاعدة بيانات في نظم المعلومات الجغرافيّة خالية من الخطأ، بغض النظر عن نوع القاعدة سواء كانت خطّيّة أو خلوية. ولأن الخرائط هي أساساً نماذج للواقع المكاني، فإنه من المستحيل أن تمتلك خريطة تقليدية أو رقميّة لا تحتوي على مستوى معين من الغموض أو عدم التأكد (Uncertainty) أو الخطأ (Error). يمكن أن يكون هذا الخطأ مزعجاً في الخرائط، لكن عندما يُطبق على تحليل البيانات الخرائطيّة فإنه يتفاقم، وذلك تبعاً للطرائق التي تتسلل من خلالها الأخطاء إلى النموذج نفسه. تفترض نماذج نظم المعلومات الجغرافيّة الخلويّة، عادةً، بأن البيانات الأصلية قليلة الخطأ، وأن طرائق الإدخال تنتج خطأً إضافياً محدوداً، وأن كل الحدود واضحة وسهلة التحديد، وأن حدود الفئات والمجموعات ذات منافع متساوية للتطبيقات المختلفة، وأن الخوارزميات التي تربط هذه الصفات قطعية أو حدية تماماً، وأن نتائج المعالجات البرمجية أو الخوارزمية ستكون كلها قطعية بالمثل. ولقد توفر منذ

الثمانينات من القرن الميلادي الماضي حجماً عظيماً من الأبحاث التي أُجريت على تحديد الخطأ، وتشخيصه، وتقديره، والتخلص منه، أو الحد منه، أو التعامل معه في نظم المعلومات الجغرافيّة. بل إن حجم الدراسات المخصصة للموضوع يقترح منحىً معيناً في تناوله. إن هذا التركيز على ما بدى أنها مشكلة معقدة وخطرة، في الحقيقة، مردّه إلى اعتراف واسع النطاق بالمشكلات المحتملة عند العمل مع قواعد بيانات خاطئة، والصعوبات في تطبيق النماذج فعلياً عند استخدام بيانات غير كاملة أو معطوبة، والتبعات المالية أو القانونية لصنع القرار السيئ الذي بُني على نتائج غير صحيحة للنموذج. يمكن أخذ الخطأ في الاعتبار لكل خريطة أو شبكة موضوعيّة في قاعدة بيانات نظم المعلومات الجغرافيّة، ويمكن أن يشمل الخطأ تفاعل هذه الطبقات الخلويّة غير المثالية أثناء عمليّة النمذجة، أو يمكن التركيز على الجودة النوعية للمخرج النهائي لعمليّة النمذجة. سوف نفحص بيانات نظم المعلومات الجغرافيّة في البيئة الخلويّة فقط، ومن ثلاثة أوجه مختلفة وهي: تمثيل البيانات (بما في ذلك الإدخال)؛ وتراكم الخطأ في بيئة النمذجة؛ وطرائق تحديد الخطأ وتحمله من منظوري تمثيل البيانات وتراكم الخطأ.

بالرغم من أننا عددنا الافتراضات الضمنية التي تساهم بشكل مباشر أو غير مباشر في الصعوبات النمذجية مع البيانات الخاطئة - إلا أنه من المهم تحديد المصادر الاعتيادية لخطأ البيانات الخلويّة. عادةً ما تكون هذه المصادر هي نفسها سواء للبيانات الخلويّة أو الخطّيّة، وتشمل: صحة المحتوى؛ وخطأ القياس؛ وخطأ جمع البيانات الحقلية؛ وخطأ المعمل؛ وخطأ الموقع؛ والخطأ الناتج من التنوع المكاني الطبيعي (Burrough and McDonnel, 1998). وتحدث أنواع الخطأ هذه قبل أو أثناء مرحلة إدخال البيانات في المشروع. ويشمل خطأ المحتوى كل من الأنواع الاسميّة (النوعية) الناتجة من سوء التصنيف أو سوء التحديد للفئات الموضوعيّة لخلايا الشبكة عند مقياس البيانات الاسمي. وينتج الخطأ الكمي، في الغالب، من التحيز أو من أجهزة جمع البيانات التي لم تُعايَر بشكل ملائم مثل مسابير المطر، وعدّادات القلوية (pH)، وأجهزة الرصد عن بعد. ويعد الخطأ الفئوي (النوعي) شائعاً في الأنظمة الخطّيّة والخلويّة، لكن يضاعف التقسم الخلوي الخطأ، خاصةً متى ما خُصصت فئة واحدة فقط لكل خلية في الشبكة. وتُظهِر المقارنات البسيطة لمجموع الكميات أو نسبة كميات الفئات الموجودة في الوثائق (الخرائط) التقليديّة ونظيراتها الخلويّة مقدار تأثير التقسيم الخلوي على كميات كل فئة. ويوضح استخدام نسبة كل فئة في الخريطة التقليديّة المُدخلة إلى نظيرتها الخلويّة ما فُقد من المعلومات أو ما اُكتسب منها خلال عمليّة الإدخال. أما خطأ المحتوى الكمي فهو وثيق الصلة بالقياس، وجمع البيانات الحقلية، وأخطاء الجمع المعمليّة قبل الإدخال في نظم المعلومات الجغرافيّة، وكل ذلك يشير إلى أهمية أخذ الحيطة في تصنيف البيانات ومعايرة الأدوات قبل جمع البيانات. وتتعامل الصحة المكانيّة بشكل مباشر مع الصحة (Accuracy) (مقدار القرب من الحقيقة) والدقة (Precision) (كيف أن قياسات متعددة ومتقاربة تنتج نفس المعلومات) للتجهيزات المساحية المستخدمة في تحديد مواقع مطلقة على سطح الأرض. ويتلازم مع الصحة المكانيّة مشكلتان مألوفتان تصدران من خطأ المسوحات الحقلية ومن الإزاحة العنصورية (البكسلية) (Pixel displacement) عند استخدام

بيانات الاستشعار عن بعد. وتوفر لنا أجهزة نظام التوقيع الأرضي (GPS) الحديثة مستويات من الصحة التي عادةً ما تكون في حدود متطلباتنا لمعظم نماذج نظم المعلومات الجغرافيّة الخلويّة، ومفيدة جداً في توقيع إحداثيات أي عنصورة في بيانات الاستشعار عن بعد. كما تحدث أخطاء الصحة المكانيّة، على أي حال، أثناء مرحلة إدخال الخرائط التقليديّة إلى نظم المعلومات الجغرافيّة عند طريق الترقيم، وخصوصاً عند استخدام وثائق خرائطية غير ثابتة نتيجةً لتعرضها لعمليات المد والانكماش نتيجة التغيرات في مستويات الرطوبة والحرارة (DeMers, 2000a, 2000b). هذا يعني أن الخرائط المصنوعة من مواد متينة مثل المايلر مقارنةً بالورق يجب استخدامها بقدر الإمكان، أو أن يتم ضبط الحرارة والرطوبة في حالة عدم توفر هذا النوع من الخرائط.

ومن أكثر الأخطاء صعوبة وإرباكاً، تلك الناتجة من مُدخلات نظم المعلومات الجغرافيّة للعناصر الطبيعية المتفاوتة للأرض. وتعد الترب والنبات والارتفاع أنواعاً مألوفة للعناصر الأرضية التي تحتوى تنوعاً محلياً لا يمكن تقديره عند مقياس معين والتي تتغير فئاتها بشكل مستمر. فكما هو الحال مع السطوح المستمرة مثل السطح الطبوغرافي، فإننا مع السطوح العديدة والمتميزة بتنوعها الشديد نُجبر على أخذ عينة من بياناتها لتوفير طبقة عامة أو إجمالية. وفي الاستشعار عن بعد، على سبيل المثال، نقيِّد مُدخلاتنا بحجم البكسل المرصود باللاقط (المستشعر). وعندما يتنوع السطح تنوعاً كبيراً في إطار حجم الخلية المعطى فإن اللاقط يأخذ المتوسط لهذه القيم لينتج - بعد ذلك - ما يعرف بالبكسلات المختلطة. ومشكلات الصحة هذه الناتجة من التفاوتات الطبيعية لا يمكن تجنبها، لكن يمكن تقليل آثارها من خلال اختيار احجام خلايا الشبكة أو البكسلات التي من الممكن أن تحتوي على أكبر قدر من الفئات المتجانسة نسبياً، ومن خلال إضافة بيانات مساعدة لتقدير الحدود الغامضة أو غير الثابتة. ويمكن الحصول على تحليل شامل وعميق لبعض الطرائق في التعامل مع هذه الأخطاء في كتاب بارا وماكدونيل (١٩٩٨م)، حيث يحدِّد كتابهما بوضوح دور تأريخ البيانات، والتغطية المساحية، ودرجة وضوح ومقياس الخريطة، وكثافة الرصد، وملاءمة البيانات وأشكالها والوصول إليها، وحقوق الملكية، والتكاليف، والأخطاء الحسابيّة التي تؤثر على وثوقية البيانات المكانيّة داخل نظام المعلومات الجغرافيّة. وتعد هذه المواضيع مهمة جداً لنوعية نمذجتنا، لكنها تبتعد عن مجال هذا الكتاب.

وفي إطار تركيزنا، هنا، على النمذجة، فإنه من المهم على أي حال أن نفحص مشكلة تراكم الخطأ داخل عمليّة نمذجتنا بنظام المعلومات الجغرافيّة. وإذا سلّمنا بأن بين أيدينا بيانات ليست مثالية كمُدخلات لنظام المعلومات الجغرافيّة، فإنه يمكن الخروج بخلاصة مفادها إننا إذا استطعنا أن نحد من ذلك الخطأ، فإن المشكلات المرتبطة به ستكون بعيدة عنا إلى حد كبير؛ وبدون هذا سنجد العكس تماماً. ولدينا عند النمذجة بنظام المعلومات الجغرافيّة ثلاثة عوامل رئيسة لتراكم الخطأ التي تتسبب في مشكلات محتملة في مُخرجات النموذج، وتشمل: نوعية البيانات - كما رأينا ذلك؛ ونوعية النموذج نفسه؛ وتفاعلات البيانات مع النموذج. كما يتطلب فحص تراكم الخطأ في

النمذجة بنظام المعلومات الجغرافيّة تقديرات لأخطاء بيانات المصدر، ونظرية تراكم الخطأ، وأدوات تراكم الخطأ (Burrough and McDonnel, 1998). وتتطلب تقديرات الأخطاء في الغالب للمواضيع الخلويّة المُدخلة نوعا من المحاكاة العشوائية (Stochastic Simulation)؛ وذلك لأن بعض العمليات الجغرافيّة، سواء كانت طبيعية أو بشرية، فيها من الوضوح الشديد ما يجعلها قابلة لأن نطبّق عليها نماذج حدية (Deterministic) لدراسة الخطأ.

إن الفرضية الأساسية للمحاكاة العشوائية هي أن البيانات ذات توزيع طبيعي، وهذا في الحقيقة غير صحيح لكثير من أنواع البيانات، لكن في غياب فهم واضح لما تقوم عليه العمليات فإن هذه الأنماط التوزيعية العشوائية تُستخدم في إنتاج سطوح للخطأ. ويتم ذلك، في معظم الأحوال، من خلال دراسة عامة لتراكم الخطأ نفسه.

وتستخدم طريقة حاسوبية شاقة في فحص الخطأ في نموذج نظام المعلومات الجغرافيّة تسمى بـ: محاكاة مونت كارلو، والتي تفترض بأن كل صفة ذات توزيع طبيعي. وفي هذه الحالة، إذا أضفنا صفة جديدة ولتكن *U* كدالة للمُدخلات ***A1, A2,...An***، فإننا نريدُ أن نفحص الخطأ المرتبط بهذه الصفة (***U***)، وكم ستكون اسهامات كل المُدخلات الدلالية (***An***) لذلك الخطأ. ومن الأمثلة الناجحة في استخدام هذه المحاكاة ما تم استخدامه في فحص نماذج الانتشار أو التدفق على السطح الكمي (Desmet, 1997)، وخرائط احتواءات التربة (Fisher, 1991). تتطلب طريقة مونت كارلو تنفيذ العشرات أو حتى المئات من عدد المحاكاة، وذلك حسب حجم قاعدة البيانات، لكنها تعد طريقة مفيدة عندما تتفاعل خلايا الشبكة مكانيا داخل النموذج من خلال وظائف مثل الجوار وعمليات النوافذ (مثل عمل المرشّحات Filters) والاشتقاق، والتحزيم (إنتاج النطاقات) (Buffering).

وبالرغم من أن طريقة مونت كارلو لنمذجة تراكم الخطأ واضحة نسبياً - إلا أن مشكلتها الرئيسة هي أنها طريقة شاقة تستلزم توظيفاً ضخماً من الموارد الحاسوبية، وهذا في الغالب يحد من فائدتها في العمليات النمذجية الاعتيادية بنظام المعلومات الجغرافيّة، خاصةً عند وجود جدول زمني ضيق وموارد حاسوبية مُجهدة أصلاً والتي تقضي بأن تأخذ النمذجة نفسها أولويةً على تقدير تراكم الخطأ. يوجد طريقة بديلة تستخدم النظريّة الإحصائيّة المعيارية لتراكم الخطأ، اقترحها كل من بارات (Parrat, 1961) وتيلور (Tylor, 1982).

تُعرف هذه الطريقة عموما بالتحليل النقطي، وهي مفيدة متى ما استخدم النموذج وظائف محلية (انظر الفصل الرابع) عندما لا تتفاعل خلايا الشبكة مع بعضها مكانياً. وتعد النماذج المبنيّة أساساً من استخدام عمليات المطابقة الاعتيادية أنواعاً جيدة لمثل هذا التحليل للخطأ. والفكرة الأساسية للتحليل النقطي هي أنه يوجد لكل خلية في الشبكة عنصرا للخطأ يعد دالة مميزة لقيم المُدخلات عندما تكون التحويلات مقتصرة على العلاقات الحسابيّة. ويوجد لهذا التحليل برنامج حاسوبي يسمى: ADAM والذي يستطيع أن يتتبع علاقات الأخطاء هذه ذات الصيغة النقطية (Heuvelink, et al., 1993; Heuvelink, et al., 1989).

تتطلب هاتان التقنيتان معرفة تفصيلية بقاعدة بياناتك، وعناصر أخطائها المتميزة رياضياً، وفي حالة التحليل النقطي، معرفة القيود التي تكتنف أنواع النماذج المستخدمة لهذا التحليل. ولا يزال الكثير مّما نجهله عن كيفيّة تأثير العمليات الطبيعية على عنصر الخطأ لكل موضوع خلوي نستخدمه، وعن كيفيّة تفاعلها داخل النماذج المعقدة. وفي ظل وجود القيود الزمنية المعروفة، وعدم وجود أجندة بحثية لمعظم نماذج نظم المعلومات الجغرافيّة، فإنه من الناحية الواقعية البحتة نتوقع أنه لم يُجر تحليل مفصل للخطأ ولا سجل لمصادره لكل نموذج، أو حتى لكل النسخ التجريبيّة (الأولية) لهذه النماذج. ومع ذلك، فإن تقديم نتائج دون شكل ما من أشكال التحقق والتصديق قد يعد مجازفة خطرة. ومن أفضل الحلول في تنفيذ التحقق من صلاحية النموذج هو استخدام مجموعة تَحقُّق (بيانات مرجعية) لمقارنة نتائج النموذج على أساسها. وعليه، فإنها أكثر من مجرد الاقتراح ببساطة أن النموذج "يبدو مناسباً"، إذ هي طريقة تُستخدم، في الغالب، لتبيّن أن النموذج أنتج النتيجة الصحيحة، وذلك من خلال فحص عينة صغيرة من منطقة الدراسة بوسائل غير نظم المعلومات الجغرافيّة لتحديد النتيجة الصحيحة. سوف نبحث ذلك بالتفصيل في الفصل التاسع.

الزمنيّة في البيانات المكانيّة

بالرغم من أن الأبحاث ما زالت جارية بهدف إنشاء نماذج صريحة للبيانات صُممت خصيصاً لنمذجة القوى المتحركة (الديناميكيّة) – إلا أنه لا يوجد حل عملي كامل وواضح. يوجد، على أي حال، بعض الحلول التي تساعدنا في استخدام النماذج الخلويّة الموجودة للنمذجة الديناميكيّة. ويبدو أن هناك ثلاثة حلول نموذجية لهذا، كلها تستخدم شكلاً من أشكال منهجيّة النمذجة التدريجية (Stepwise)، أو التباين المنفصل (Discrete Difference) التي يتتابع فيها العمل تدريجياً، حيث تكون كل مرحلة جديدة نتيجةً لوظيفة تحليلية بنظام المعلومات الجغرافيّة مطبقة على مجموعة جديدة من الخلايا لكنها متأثرة بالمخرج من النتائج والقيود الناتجة من المرحلة السابقة.

إن أكثر المنهجيات بساطةً للنمذجة الزمنية في نظم المعلومات الجغرافيّة يمكن أن يطلق عليها ضمنياً بالمنهجية الزمنية حيث تستخدم الوظائف التحليلة الشموليّة (Global Functions) في نظم المعلومات الجغرافيّة الخلويّة (انظر الفصل الرابع). وتعد هذه المنهجيّة أساساً مقياساً للمسافة من نقطة بداية ما إلى الأمام، ويتم القياس على نحو "خلية بخلية". ويمكن تعديل المسافة بواسطة القيم الكسرية المشمولة في موضوع خلوي آخر، وينتج عن ذلك حركة، أيضاً، عبر كامل الشبكة.

وفي النوع الثاني للنموذج المكاني الزماني، يمكن تضمين حالات أو شروط أخرى، غالباً شروط احتمالية، أو شرطية منطقياً، في خلايا الشبكة الموضوعيّة، بحيث تُقيّم تأثيرات هذه الشروط عند كل عمليّة تكرار (أو معاودة) في النموذج، ويمكن أن تخرج النتائج في شكل شبكة (طبقة خلوية) مؤقتة، وهذا له تأثير يتمثّل في تغيير

الشروط لكل مرحلة من مراحل النموذج. ومن الأمثلة التقليديّة لذلك، نموذج الحرائق، حيث تكون فرضية عمله أن الخلية الغابية لا تحترق فوراً بالضرورة في المرحلة الزمنية التالية لمجرد أنها مجاورة لخلية متعرضة للحريق (Yuan, 1994, 1997). فبدلاً من ذلك، فإن حالتها سوف تكون مشروطة بما سوف يكون حالها عليه من جفاف خلال كل خطوة أو مرحلة متعاقبة. وكلما ازدادت الخلية جفافاً ازدادت قابليتها للحريق، حتى تصل إلى عتبة (قيمة) حدية معينة حيث تتغير قيمة الخلية عند هذا الوقت لتشير إلى أن الأشجار ضمن هذه الخلية تحترق.

وبالرغم من أن خلايا الشبكة الملاصقة مباشرة تمر بهذا التحول المشروط، فإن الخلايا التي على مسافة ما من خلايانا التي تحترق يمكن، أيضاً، أن تتغير تبعاً لذلك، ربما على أساس وظيفة ما من وظائف تضائل (تناقص) المسافة. إضافة إلى ذلك، يسمح نموذج نظام المعلومات الجغرافيّة الخلوي بفحص قوانين الانتقال من خلال الاحتمال العشوائي عند استخدام محاكاة مونت كارلو بوصفه نموذجاً مكانياً زمانياً. ولقد استخدمت هذه المنهجيّة بنجاح في محاكاة اختيار الموقع السكني، إذ بواسطتها يكون تحديد الخلايا المستهدفة أقل سهولة ممّا لو تم تحديدها في نمذجة الحرائق (Raju, et al., 1998).

ولقد رأينا أن النماذج الخلويّة الخاصة المسماة بالروبوتات أو الآليات الخلويّة مصممةٌ خصيصا لتضمين بيانات شرطية لنماذج النمو أو التوسّع (Batty and Xie, 1994). ولقد رأينا، أيضاً، أن هذه النماذج تختلف في طرائق تطبيقها. وتعتبر هذه النماذج نوعاً ثالثاً من النماذج المكانيّة الزمانيّة؛ ذلك كونها تستخدم فقط خلايا الجوار المتلاصقة، ولأنها تحتوي على مجموعة قوانين صريحة والتي عادةً ما تكون قوانين معقدة. إن الاختلاف الجوهري بين نموذج الآلية الخلويّة ونظام المعلومات الجغرافيّة يكمن في القدرات المتقدمة لنظام المعلومات الجغرافيّة المبني على الجبر الخرائطي. ورغم أن الآلية الخلويّة تستطيع أن تنفذ مهام نمذجية مكانيّة زمانيّة معقدة ومتنوعة – إلا أنها محدودة القدرات في عمليات المطابقة، وقياسات المسافة وفي مجموعة من عمليات الجوار الممتدة أو الموسعة. هذا يفسر محاولات ربط نظام المعلومات الجغرافيّة الخلوي مع الآلية الخلويّة بدلاً من الاضطرار إلى الاختيار بينهما.

بيّنت بعض الأبحاث ربطاً واضحاً لبعض البرامج مثل برنامج: Stella، الذي صُمم لمهام نمذجة المُدخلات والمُخرجات الزمنية، مع القدرات المكانيّة لنظام المعلومات الجغرافيّة. ولقد أجرت المحاولات السابقة النمذجة الزمانيّة داخل حزمة برنامج النمذجة الزمانيّة نفسها ثم أرسلت نتائج كل تكرار إلى نظام المعلومات الجغرافيّة لغرض العرض فقط. ومن خلال إنشاء مناطق ذات ظروف أو شروط متماثلة، يستطيع البرنامج أن يشتغل على هذه المناطق خلال الزمن، بدلاً من العمل على كل خلية على انفراد. وتم مؤخراً محاولات لربط مباشر للبرنامجين المنفصلين لعمل نمذجة للمكان والزمان بشكل صريح. وسينتج من ذلك نظام هجين، يحتوي ربما على تراكيب جديدة للبيانات، وربما نماذج بيانات جديدة. إن هذه المحاولات جديرة بالاهتمام، لكن في ظل الطبيعة التجريبيّة لهذا العمل فإننا لن نبحث فيها بالتفصيل. عوضاً عن ذلك، اقرأ بعض الدراسات المتعلقة بشكل خاص بهذه التقنية.

مراجعة الفصل

تقوم نظم المعلومات الجغرافيّة على التقسيم الخلوي للمكان، حيث يُفصَّل المكان الجغرافي إلى حزم متفردة من البيانات. يوجد على الأقل أربعة نماذج أساسية للبيانات مبنيّة على هذا التقسيم والتي عادةً ما تُطبق للمهام النمذجية: النموذج الخلوي البسيط؛ والنموذج الخلوي الموسّع؛ والتفريع التربيعي؛ والآليات أو الروبوتات الخلويّة. تُعتبر هذه النماذج أكثر النماذج ملاءمة لتطبيق المهام النمذجية المبنيّة على الموضع، مقارنةً بالنماذج الخطّيّة المبنيّة أكثر على الموضوع. وبالرغم من أن التقسيمات الخلويّة توفر مواقع مطلقة أقل صحة - إلا أنها توفر أفضل الإمكانات لنمذجة أي نوع من أنواع السطوح، ولفحص التفاعلات المكانيّة للظواهر، سواء كانت الخلايا متجاورة أو على مسافة معينة من الخلية المستهدفة. كما يوجد العديد من مصادر البيانات الخلويّة الرقميّة، تتراوح بين مجموعات البيانات الحكومية الرخيصة والمجانية إلى مجموعات البيانات التجارية الأعلى كلفة. في حين يوفر معظم موردي البيانات، أيضاً، خدمات خاصة للبيانات الملاءمة خصيصاً لمشروعك الخاص. وبالرغم من أن التطوير الداخلي (داخل المؤسسة مثلاً) لقواعد البيانات يسمح بتحكم محلي أكثر لجودة البيانات - إلا أن التكلفة القليلة للبيانات الموجودة قد تلغي هذا العامل طالما أن موردي البيانات يوفرون معلومات تفصيلية عن البيانات. وفي عمليّة اختيار البيانات، هناك قرارات ضرورية للنمذجة لابد من اتخاذها تتعلق بحجم خلية الشبكة، ومنطقة الدراسة، وشكل البيانات، ومسقط الخريطة، ونظام الشبكة الإحداثي. كما يمكن ربط حجم الخلية بالمتطلبات النمذجية، بدلاً من حجم البيانات أو أحجام البكسل في بيانات الاستشعار عن بعد. عندما يتخذ المرء قرارات حول منطقة الدراسة، فإنه من الضروري أن يزيد منطقة الدراسة خارج حدود المساحة الفعليّة المراد دراستها وذلك حينما يستخدم النمذجة السطحية أو الاشتقاق. ومع أنه يمكن تحويل أشكال البيانات ومسقط الخريطة ونظام الإحداثيات الشبكي، فإنه من الأفضل أن يكون عدد مرات التحويل أقل ما يمكن وذلك لتقليل إدخال الأخطاء الحسابيّة إلى قاعدة البيانات.

تتشابه مصادر خطأ البيانات الخلويّة مع مصادر البيانات الخطّيّة - صحة المحتوى، وخطأ القياس، وخطأ جمع البيانات من الحقل، والخطأ المعملي، وخطأ الموقع، والخطأ الناتج بسبب التنوع الطبيعي للمكان. وتعد أنواع الخطأ هذه مهمة بذاتها، لكن تفاعلاتها أثناء النمذجة تصبح أكثر أهمية في ظل طبيعة نظام المعلومات الجغرافيّة باعتباره أداة للنمذجة. هناك طريقتان رئيستان لنمذجة تراكم الخطأ في نظام المعلومات الجغرافيّة. الأولى، وهي طريقة شاقة تستخدم محاكاة مونت كارلو تسمح - بالرغم من تكلفتها الحاسوبية - بتتبع الخطأ في النماذج التي تتفاعل مكانياً. أما النماذج المقصورة على الوظائف المحليّة، أو الوظائف التي لا تستخدم تفاعلاً مكانياً، فيمكن أن تستعمل طريقة أقل تكلفة وهي طريقة التحليل النقطي. وبخلاف هاتين الطريقتين لتحليل الخطأ، يمكن استخدام مجموعات تَحقُّق للتأكد من سلامة النموذج وتتطلب معرفة سابقة بالنتائج المتوقعة.

بالرغم من أنه لا يوجد بعد نموذج بيانات خلوي مكاني زماني - إلا أن النماذج الموجودة تسمح بالنمذجة الزمانيّة المكانيّة. إلا أنه يوجد ثلاثة أنواع عامة من النماذج المكانيّة الزمانيّة قادرة على العمل مع نماذج البيانات الخلويّة الموجودة، وتشمل: منهجيّة بسيطة لقياس المسافة، وفيها توافق كل مرحلة في النموذج مرحلة زمنية معينة؛ والثانية تستخدم استجابات شرطية وتحديد عتبات حدية أو حدود عليا (Thresholding)؛ والثالثة، تستخدم الآليات الخلويّة في تضمين الشروط داخل خلاياها الشبكية. كما أن البحث جارٍ حاليا لكل من إنشاء نماذج بيانات مكانيّة زمانيّة وربط برامج النمذجة الزمانيّة مع نظام المعلومات الجغرافيّة.

مواضيع المناقشة

١- لماذا تفترض بأنه مع معظم التقسيمات ونماذج البيانات في نظم المعلومات الجغرافيّة الخلويّة تكون قيم الخلايا، في أغلب الأحيان، مُرمّزة بأعداد كاملة بدلاً من الأعداد الكسرية؟ ما هي الإيجابيات والسلبيات التقنية التي قد تصاحب الترميز بالأعداد الكسرية؟ وما هي إيجابيات النمذجة وسلبياتها التي قد تحدث - عندئذ؟

٢- بالرغم من أن التقسيم الخلوي عادةً ما يُعمل بخلايا شبكية مربعة، بين رؤيتك حول الإيجابيات المحتملة من استخدام تراكيب بيانات بديلة لنمذجة واحد أو أكثر ممّا يلي:

أ) بعض من أو كل الأجسام الكروية، مثل الأقمار أو كواكب كاملة.

ب) أجسام كوكبية ذات أشكال غير منتظمة، مثل الكويكبات.

ج) معلومات جيولوجية مثل السدات البركانية، وقبب اللافا، والقبب الملحية.

د) طبقات الركّاز أو الخام السفلية في ثلاثة أبعاد كاملة.

٣- ناقش إيجابيات وسلبيات استخدام أنواع مختلفة من نماذج نظم المعلومات الجغرافيّة الخلويّة، وليشمل ذلك نسخاً أو أنواعاً للنموذج الخلوي البسيط.

٤- لقد رأيت كيف أن نموذج نظام المعلومات الجغرافيّة الخلوي الموسع يمكن استخدامه للظواهر النقطية والخطّيّة والمساحية. لماذا يعد هذا النموذج أقل كفاءة للسطوح والحقول؟ ضمّن في إجابتك فكرة الأعداد الكسرية مقارنةً بالكاملة.

٥- اشرح الفرق بين نماذج نظم المعلومات الجغرافيّة الخلويّة (بما فيها التفريعات التربيعية) والآليات الخلويّة. لماذا يوجد، حسب رأيك، تواصلاً محدوداً جداً بين أولئك الذين ينمذجون بالآليات الخلويّة والذين يستعملون نظم المعلومات الجغرافيّة الخلويّة؟ ما هي بعض القضايا المتعلقة بعمل تلك الروابط؟

٦- ناقش التحسينات الممكنة في تحليل وتخزين بيانات نظم المعلومات الجغرافيّة الخلويّة في ظل ما يمكن أن يتوقعه الشخص من التغيرات التقنية الحاسوبية. تتبع، على سبيل المثال، الأحجام العامة لأجهزة الأقراص الصلبة، بالإضافة إلى المعالِجات الحاسوبية وسرعاتها الزمنية، خلال الخمس سنوات السابقة. ارسم هذه التغيرات باستخدام

رسم بياني خطي أو مضلع تكراري. طبق هذا على أحجام قواعد البيانات التي يمكن استخدامها، ولسرعة العمليات التحليلية. ما العوامل الأخرى التي يمكن أن تدخل في هذا السياق؟

٧- ناقش لماذا تُعد نظم المعلومات الجغرافيّة الخلويّة قائمة على الموقع في حين تُعتبر نظم المعلومات الجغرافيّة الخطّيّة مبنيّة أكثر على الموضوع؟ اربط هذا المفهوم مع فكرة أن نظام المعلومات الجغرافيّة الخلويّة أفضل في الإجابة عن أسئلة "أين"، في حين أن الخطي أفضل في الإجابة عن أسئلة "ماذا". قدم مثالاً على هذا من خارج الكتاب.

٨- صف بكلماتك الخاصة مكونات البيانات الخلويّة التي من الممكن أن تسبب خطأً في أنشطتك النمذجية. كيف يمكن أن تجعل كلا من مصادر الخطأ وحجمه في قاعدة بياناتك عند الحد الأدنى؟ وما التقنيات المتوفرة لنمذجة تراكم خطأ النموذج الخلوي؟

٩- ناقش طبيعة الخصائص التي يجب توفرها عند إنشاء نموذج بيانات خلوي بحيث ينمذج بشكل صريح الظروف المكانيّة الزمانيّة.

أنشطة تعليمية

١- وضّح كيف تمثّل ما يلي باستخدام شكل بسيط للتقسيم الخلوي الذي نوقش في هذا الفصل:

أ) أعمدة الهاتف.

ب) الطرق والشوارع.

ج) الزراعة.

د) السطح الطبوغرافي.

٢- اشرح باستخدام الأشكال التوضيحية في الكتاب، لماذا يعد نموذج البيانات الخلويّة في حزمة برنامج ماب (MAP) أكثر ملاءمة لتوسيع نموذج البيانات الخلوي باستخدام نظم إدارة قواعد البيانات العلائقية (RDBMS).

٣- أنشئ جدولاً يشبه الجدول رقم (٢،١) يظهر أنواع البيانات الوصفيّة الإضافية التي يمكن تمثيلها ضمن نموذج البيانات الخلويّة الموسّع وذلك لأنواع التغطيات الموضوعيّة التالية:

أ) استخدام الأرض.

ب) شبكة المواصلات.

ج) البنية العمرانية التحتيّة.

٤- ارسم خريطة بسيطة في حدود (٤x٤) بوصة تظهر فقط اليابس (مظلل) والماء (أبيض) على ورقة. أنشئ شبكة بنفس الأبعاد بتقسيمات ربع بوصة، وباستخدام آلة تصوير اعمل طبقة شفافة لهذه الشبكة. الآن طابق الشبكة على خريطتك. ارسم مخططاً توضيحياً يبيّن تطبيق التفريعات التربيعية لتمثيل هذه الخريطة.

٥- ابحث على الإنترنت عن مصادر بيانات لنظم المعلومات الجغرافيّة الخلويّة. تأكد من أن البحث يشمل مصادر حكومية وتجارية. ابحث، أيضاً، عن البيانات من مصادر غير مصادرك الوطنية. خزّن كل عناوين أو روابط هذه المصادر كمؤشرات (Bookmarks) في متصفح الإنترنت ثم ضع نسخاً من صفحات الإنترنت المفيدة في المفكرة التي أنشأتها في الفصل الأول.

٦- طابق الشبكة والخريطة اللتان عملتهما في النشاط (٤) وقم بمحاكاة طريقة الترقيم الأكثر شهرة من خلال تخزين قيمك في مصفوفة عددية مكونة من (١٦ x ١٦) خلية. افحص الخريطة المُخرجة والخريطة المُدخلة. الآن، وبافتراض أن كل خلية مربعة (ربع بوصة مربعة) عبارة عن واحد ميل مربع، حدّد عدد الأميال المربعة لليابس مقابل الماء في الخريطة المُخرجة. وباستخدام جهاز البلانيميتر، صف واحسب مقدار الخطأ الناتج من عمليّة ترميزك (ترقميك). أين يظهر معظم الخطأ؟ بيّن كيف أنه بتصغير حجم الخلية إلى ثُمُن بوصة للميل المربع الواحد يمكنك أن تحسّن جودة الخريطة المُخرجة؟

٧- بيّن باستخدام شبكة بأبعاد (١٦ x ١٦) خلية على ورقة، كيف تستطيع أن تستخدم شكلاً من أشكال وظائف الانتشار (وظيفة تحليل للمسافة) لمحاكاة حركة شيء ما من الزاوية العليا اليسرى إلى كل خلية أخرى عبر كامل الشبكة. الآن، أضف طبقة احتكاك خاصة بك ثم وضّح طريقة التحرك التدريجي مرة أخرى. فكّر، الآن، في كيف يمكن أن تُضمّن الحدود (العليا والدنيا) والقوانين المنطقيّة لمحاكاة شيء ما مثل الحريق. سوف نعود لذلك في تفصيل أكثر فيما بعد، لذا لا تعطي هذا وقتاً أكثر ممّا ينبغي.



الفصل الثالث

الجبر الخرائطي
MAP ALGEBRA

أهداف تعليميّة

يُفترض أن يكون الطالب قادراً بعد إكمال هذا الفصل وتعزيز محتوياته بقراءات خارجية، وبالبحث وبالممارسة العمليّة على عمل ما يلي:

١ - تحديد وتنفيذ منهجيات ترميزية ملاءمة للبيانات النقطية والخطّية والمساحية والسطحية عند جميع مستويات قياس البيانات الجغرافيّة.

٢- توضيح الفارق بين منهجيتي الترميز الخلوي المنتظم وغير المنتظم ومناقشة مزايا وعيوب كل منهما.

٣- إنشاء جداول صفات للنموذج الخلوي الموسع للبيانات الخطّية والنقطية والمساحية والسطحية عند جميع مستويات قياس البيانات الجغرافيّة.

٤- تحليل وقياس الخطأ المكاني لموضوع واحد الناجم عن منهجيّة واحدة أو أكثر من منهجيات ترميز البيانات الخلويّة.

٥- وصف وتوضيح أساليب التعامل مع ترميز الكيانات النقطية المتعددة وصفاتها المرتبطه بها عندما تظهر الأهداف المتعددة داخل الحدود الجغرافيّة للخلية الواحدة من الشبكة.

٦- شرح أوجه التشابه والاختلاف بين الجبر الخرائطي وجبر المصفوفه.

٧- حصر وتحديد قائمة بالمعاملات (Operators) الأساسية المتاحة في الجبر الخرائطي وتقديم وصف موجز لكل منها، بما في ذلك اقتراحات حول ما يمكن أن تُستخدم له.

٨- حصر وتحديد قائمة لكل الوظائف (Functions) في الجبر الخرائطي، وتقديم وصف مقتضب لأهدافها، واقتراح كيف يمكن للواحد أن يوظفها، باختصار.

٩- حصر وتحديد قائمة لكل عمليات سير التحكم الأساسية المتاحة في الجبر الخرائطي، وشرح سبب أهمية عمليات سير التحكم، وكيفيّة تأثيرها على أتمتة عمليات ووظائف النمذجه.

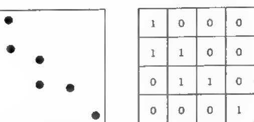
١٠- شرح عمليات التكرار أو المعاودة والدور الذي يمكن أن تلعبه في تطوير النماذج الخرائطيّة.

تصوير أبعاد المكان من صفر إلى بعدين بخلايا الشبكة

تعلمنا في الفصل الثاني بعض التقسيمات المكانية التي تستخدم في التجزئة الكمية للحيز الجغرافي إلى وحدات منفصلة أو شبكات. وتعلمنا، أيضاً، بعض الطرائق الأساسية لنمذجة البيانات الموضوعيّة المتعددة داخل الحاسوب. لقد قصدت تجنب مناقشة لمستويات قياس البيانات الآن حتى نضم تقسيماتنا ونماذج بياناتنا الخلويّة وحساباتنا الرياضيّة ضمن الإطار المركزي للنمذجة الخرائطيّة - الجبر الخرائطي (Tomlin and Berry, 1979). يتعيّن علينا قبل أن نتمكن من مناقشة الجبر الخرائطي (Map Algebra) بشكل فعال أن نستعرض مفاهيم المقاييس الاسمية والترتيبية والفاصلية والنسبية للبيانات الجغرافيّة على النحو المبين في معظم الكتب التمهيدية في نظم المعلومات الجغرافيّة، لكن بتركيز واضح على التقسيم الخلوي للحيز الجغرافي. سنبدأ بأبعاد المكان من البعد صفر إلى البعد الثاني؛ لأن معظم التغطيات داخل نظام المعلومات الجغرافيّة الخلوي ليست سطوح إحصائية. بالإضافة إلى ذلك، سوف نناقش تحويل البيانات المكانية التقليديّة (غير الرقميّة) إلى تقسيم خلوي أوّلي لكي يكون لدينا إدراك بما ننمذجه بالضبط، وعند أي مستوى من القياس، وأيّ أخطاء موقعية محتملة يجب معالجتها عندما نبني نماذجنا.

سوف يُعرّف المكان الثنائي البعد، هنا، على أنه أي بيانات جغرافيّة متعلقة بالسطح غير الإحصائي، وسيتضمن الأنواع الثلاثة الرئيسة للبيانات الخرائطية التي رأيناها في الفصل الثاني - ألا وهي النقاط والخطوط والمساحات. يمثّل كل هدف من هذه الأهداف ظواهر على الأرض، والتي شُخصت من قِبل مراقب ثم جُرّدت (عُمّمت) بدرجة معينة مكانياً وعددياً. فتمثّل الظواهر النقطية مثل أعمدة الكهرباء فعلياً نقاطاً في الواقع، ومن ثمّ لا تحتل حيزاً مساحياً كبيراً على أرض الواقع. وبهذا، فإن موقعها المطلق يُعتبر، عادةً، في مكان ما داخل الخلية المعطاة من خلايا الشبكة، أما صحة الموقع فيحددها مباشرة حجم الخلية. وكما ذكرنا للتو، فإن عمود الطاقة يُحدّد فقط كجزء واحد من البيانات الاسمية؛ لأنه ببساطة له اسم يرتبط بالموقع. وفي ظل هذه الظروف، فإن عمود الطاقة غالباً ما يُسجّل في شكل قيمة رقميّة (عدد صحيح، في الغالب)، والتي تشير فقط إلى وجوده في مكان ما داخل الخلية. ولكي نرمز ذلك، نقوم باختيار مسبق لعدد يمثّل الخلية الشبكية ونشير لموقعه باستخدام منهجيّة "وجود أو غياب" في الترميز الخلوي (DeMers, 2000a) (الشكل رقم ٣,١). وتستخدم هذه الطريقة، عادةً، بعض القيم غير الصفرية التي تشير إلى وجود الهدف، وأصفار لإظهار غيابه. ويمكن في هذه الحالة، إذا أردنا أن نستخدم النموذج الخلوي الموسع أن نبيّن، أيضاً، أي صفات إضافية، سواء كانت عددية أو فئوية، باعتبارها جزءاً من نظام إدارة

قواعد البيانات المرتبط بها، (الجدول رقم ٣,١). وقد تشمل هذه الصفات حجم العمود ونوعه (خشب، أو معدن، ... إلخ)، وآخر مرة تم فحصه.



الشكل رقم (٣,١). طريقة الترميز "وجود أو غياب". تعد هذه الطريقة لترميز البيانات الخلويّة أفضل طريقة تُطبق على البيانات النقطية، على الرغم من أنها لا تقتصر على النقاط. يُرمز للخلية الشبكية بـ (١) إذا كان الهدف موجوداً في مكان ما داخل الخلية، وصفر (٠) إذا لم يكن موجوداً.

الجدول رقم (٣,١). النموذج الخلوي الموسّع.

١	٠	٠	٠
٢	٢	٠	٠
٠	٣	١	٠
٠	٠	٠	١

القيمة	العدد	الحجم	النوع	تاريخ الفحص
١	٣	١٨ بوصة	أخشاب	٩٧/١/٢٠
٢	٢	٢٢ بوصة	معدن	٩٩/٩/١٩
٣	١	٢٤ بوصة	معدن	٩٩/٩/٣٠

يسهل التعامل مع "وجود أو غياب" الظواهر في النموذج الخلوي الموسّع؛ حيث يسمح بإدراج صفات إضافية. وفي هذه الحالة، فإننا ننظر إلى أعمدة الطاقة على أن كل منها مختلف في الحجم و النوع وتاريخ الفحص.

دعونا نفترض بالمقابل أننا لا نرغب في ترميز أعمدة الطاقة على أنها فئة واحدة، بل فئات متعددة. فعلى سبيل المثال، قد نرغب في إنشاء موضوع تحت مسمى أعمدة الطاقة بحيث نصنفها بشكل صريح، على سبيل المثال، حسب عدد العوارض: "مع عارضة واحدة"، و "مع عارضتين"، و "مع أربع عوارض"، أو أن كل فئة للعمود يمكن ترميزها باعتبارها موضوعاً مستقلاً. وبهذه الطريقة، فإن الموضوع الأصلي يتضمن فئة للبيانات الاسميّة محدّدة سلفاً، ثم لكل فئة، ما زلنا نملك القدرة على عزل وتخزين واسترجاع بيانات الصفات الإضافية في شكل جداول في امتداد قاعدة البيانات لكل نوع من الأنواع المحدّدة للعمود. لهذه الطريقة بعض المزايا من خلال تبسيط البيانات وتتيح سهولة البحث مثلاً عن كل الأعمدة ذات العوارض المفردة والتي لم تتم زيارتها للصيانة منذ أكثر من ستة أشهر. وإذا لم يكن لنظام المعلومات الجغرافيّة الخلوي الخاص بك ارتباطاً مباشراً مع نظام لإدارة قواعد البيانات، فإنه ربما من الحكمة أن تنتج مواضيع متعددة بدلاً من أن تحدّد مسبقاً كل فئة. وبهذه الطريقة، فإن خلايا الشبكة

نفسها ستحتوي على معلومات أكثر بسبب هذه الفئات، ممّا يقلل الحاجة إلى نظام لإدارة قاعدة البيانات يحتوي على مثل هذا الامتداد أو التوسّع.

يمكن للأهداف النقطية، بالطبع، أن تُرمّز، أيضاً، على أساس الفئات الترتيبية، والفاصلية، والنسبية. وكما رأينا سابقاً، يمكننا ترميز كل عمود إما مجرد عمود فقط، مع فئاته الترتيبية والفاصلية والنسبية مخزّنة في شكل صفات في قاعدة بيانات موسعة، وإما أن نُرمّزها بشكل صريح على شكل أعداد في قواعد البيانات الخلويّة البسيطة. وكما حدث من قبل، يمكن ترميزها باستخدام منهجيّة "وجود أو غياب". لاحظ من خلال بعض الأمثلة التي يظهرها الجدول رقم (٣,٢) الاختلافات بين النموذج الخلوي البسيط والنموذج الموسع.

لقد رأينا أن هناك العديد من الخيارات فيما يتعلق بكيفيّة اختيار وترميز هذه الظواهر النقطية. إن استراتيجية الترميز المنتظم التي استخدمناها كانت طريقة "وجود أو غياب"، بيد أننا لا نقتصر على هذه الطريقة لهذه الأهداف النقطية. ورغم أن الطرائق الثلاث المنظمّة الأخرى - مركز الخلية المتوسط ونسبة الحدوث أو الظهور المئوية، والنوع السائد (DeMers, 2000a)، ليس لها فائدة خاصة للأهداف النقطية - إلا أن ثمّة طريقة ترميز خلوية غير منظمّة يمكن استخدامها. ويُعرف هذا المنهج بطريقة "النوع الأكثر أهمية" (موظفو معهد بحوث النظم البيئيه، ١٩٩٤ — ESRI)، والتي تتيح للمستخدم أن يعزل بانتقائية أنواع الأهداف التي ستُدرج، في حين تُحذف الأنواع الأخرى. ويمكن أن يمثّل ذلك عن طريق اختيار وترميز سوى تلك الأعمدة التي هي في حاجة إلى الفحص في الموضوع المعطى. وبطبيعة الحال، فإن أيّ بيانات موضوعيّة إضافية يمكن إدراجها في جداول داخل النموذج الخلوي الموسّع. تعطي طريقة "النوع الأكثر أهمية" المستخدم تحكماً كبيراً بما هو مهم في البيانات الموضوعية قبل أن تبدأ النمذجه.

الجدول رقم (٣,٢). الموضوع: أعمدة كهرباء.

القيمة	العدد	الحجم	النوع	تاريخ الفحص	العوارض
١	٣	١٨ بوصة	أخشاب	٩٧/١/٢٠	٠
٢	٢	٢٢ بوصة	معدن	٩٩/٩/١٩	١
٣	١	٢٤ بوصة	معدن	٩٩/٩/٣٠	٢

١	٠	٠	٠
٢	٢	٠	٠
٠	٣	١	٠
٠	٠	٠	١

توسيع طريقة الترميز "وجود أو غياب" مع البيانات المجدولة لتشمل توصيفات متعددة.

وكما رأينا، فإن الهدف النقطي ليس له بعد مكاني حقيقي، غير أن الخلية الشبكية تملك هذا البعد. وهذا يخلق بعض المشكلات المحتملة للحالات التي يظهر فيها هدفان أو أكثر من الأهداف النقطية داخل نفس النطاق الجغرافي للخلية الواحدة. فعلى سبيل المثال، قد يكون لدينا اثنين أو ثلاثة من أعمدة الطاقة التي قد تظهر داخل

نطاق الخلية الواحدة (الشكل رقم ٣,٢). فإذا وضعت قيمة واحدة لكل عمود ولديك ثلاثة أعمدة داخل الخلية، فإنك سوف تقتصر على ترميز واحد منها مع النموذج الخلوي البسيط، لهذا فإن تبسيط موضوعك (طبقتك) بهذه الطريقة يساعدك على التخلص من هذه المشكلة؛ إذ تستطيع أن تعزل الأعمدة حسب نوعها، لكن بافتراض أن كل واحد من الأعمدة الثلاثة قابل للعزل. وهناك بديل آخر وهو أن تختار حجماً أصغر للخلية بحيث يمكن أن يظهر كل عمود داخل الخلية الواحدة.

المصفوفة المخرجة

0	1	0	0	0
0	0	0	1	0
0	0	0	0	0
0	0	0	0	0
1	0	0	0	0

بيانات (وجود/غياب)

الأعمدة على الشبكة

الشكل رقم (٣,٢). مشكلة واحدة للترميز بطريقة "وجود أو غياب". كثيرا ما يكون هناك حالات فيها هدفان أو أكثر ضمن خلية شبكية واحدة، لكن بدون استخدام النموذج الخلوي الموسّع، لا يمكن ملاحظة ذلك.

وهناك منهج آخر وهو أن تُرمّز كل خلية على هذا النحو: إما إنها ذات أعمدة، وإما ليس لها أعمدة، ثم تُستخدم القيم العددية لتوضيح عدد الأعمدة التي احتوتها كل خلية شبكية. إلا أن هذا النهج يحد من فائدة النموذج الخلوي الموسّع؛ لأنه قد يكون لديك أكثر من نوع واحد أو فئة من العمود عند كل خلية شبكية. يوفر النموذج الخلوي الموسّع منهجيّة مشابهة أخيرة، وذلك بأن كل خلية يمكن أن تُرمّز حسب وجود أو غياب أعمدة الهاتف ومن ثم يمكن لنظام إدارة قواعد البيانات أن يحتوي على معلومات محدّدة عن عدد الأعمدة التي كانت هناك. وكما هو الحال مع الطريقة السابقة، فإن هذه المنهجيّة تحد من إضافة المعلومات الوصفيّة. ولأن نظم إدارة قواعد البيانات عادةً ما تفترض أن هناك قيمة واحدة لكل خلية (حسب الصيغة المعيارية الأولى First Normal Form–) (DeMers, 2000a)، فإنك ستكون مقيَّداً بإدخال صفات عمود واحد فقط في كل مرة. ويمكن تجنب هذا من خلال تجاهل الصيغة المعيارية الأولى، وإدراج أعمدة (Columns) مستقلة في الجدول لكل من الأعمدة الثلاثة (الشكل رقم ٣,٣). غير أن ذلك سيجعل الاستعلام من قاعدة البيانات أكثر صعوبة ويقلل من فائدة قاعدة بياناتك. ستجد في المثال في الشكل رقم (٣,٣)، أن عليك البحث عن قيمة (١) للإشارة إلى أن هناك عمود للبدء به ثم مواصلة البحث، أيضاً، عن رموز الأعمدة الأخرى. هذه المشكلة مشروحة بوضوح في قاعدة البيانات الخاصة بجزيرة جبل الصحراء

(Exercises in GIS) المستخدمة في تمارين في نظم المعلومات الجغرافيّة (Maine) في ولاية ميين (Mount Desert Island) لديميرس (DeMers, 2000b).

0	1	0	0	0
0	0	0	1	0
0	0	0	0	0
0	0	0	0	0
1	0	0	0	0

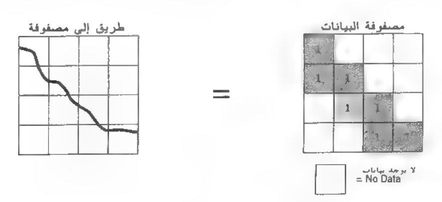
الأعمدة على الشبكة

الأرض	أعارضة	بدون عوارض	النوع	العدد	القيمة
غير متوفر	غير متوفر	غير متوفر	غير متوفر	22	0
سكنية	طاقة	هاتف	عشبية	3	1

موصّفات الأعمدة

الشكل رقم (٣,٣) تجاهل الصيغة المعيارية الأولى بالرغم من أن وضع رموز منفصلة للأهداف قد يسمح لنا بتخزينها – إلا أن ذلك كثيراً ما يخلق مشكلات عند محاولة استرجاعها.

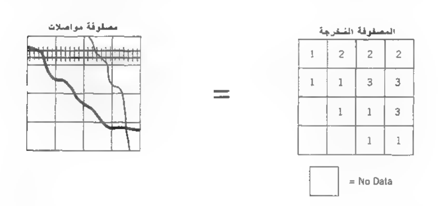
تشترك الظواهر الخطّيّة في نفس مستويات قياس البيانات الجغرافيّة (الاسميّة، والترتيبية، والفاصلية، والنسبية)، وكذلك في خيارات الترميز ذاتها. ولأن البيانات الخطّيّة لها بعد مكاني واحدا فقط، الطول، فإن تراكيب البيانات الخلويّة تعمم الموضع المكاني لهذه الظواهر (الشكل رقم ٤ ٣). وبهذه الطريقة، فإن طريقاً معيناً أو مساراً ما يبلغ عرضه (١٥) متراً، على سبيل المثال، يمكن أن يحدث في مكان ما داخل خلية شبكية قد يكون قطرها (١٠٠) متراً. وهذا يثير من جديد الحاجة إلى توخي الحذر عند اختيار حجم الخلية الشبكية لترميز البيانات الخطّيّة.



الشكل رقم (٣,٤). تعميم الخطوط في النموذج الخلوي. يؤدي استخدام الخلايا الشبكية للظواهر الخطّيّة إلى مشكلة خطأ الصحة الموضعية؛ بسبب حجم الخلية الشبكية في المجال الجغرافي.

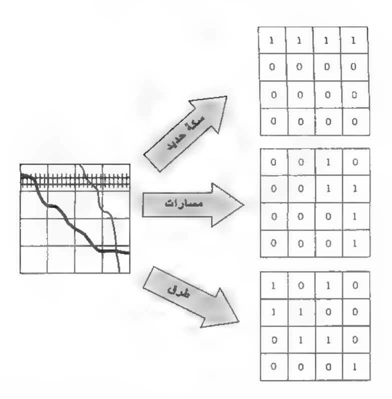
إن اختيار خطة ترميز خلوي مناسب للبيانات الخطّيّة يفرز بدرجة كبيرة نفس مجموعة المشكلات التي حدثت مع البيانات النقطية. ولأن البيانات الخطّيّة عادةً ما تحتل جزءاً صغيراً جداً من خلايا الشبكة ، فإن استخدام طرائق الترميز الخلوي المتمثّلة في نسبة الحدوث ، والنوع السائد أو المهيمن ، ومركز الخلية المتوسط ، يصبح هنا غير مناسب. بقي لدينا طريقة "وجود أو غياب" وطريقة "النوع الأكثر أهمية".

وكما هو الحال مع أمثلة البيانات النقطية ، فطريقة "وجود أو غياب" سوف تستخدم ، في أغلب الأحيان ، عندما تكون الفئات محفوظة في شكل منطقي بولياني (Boolean)، (على سبيل المثال : إما يوجد طرق وإما لا يوجد). ولكي نشمل فئات أو أصناف أكثر من البيانات الخطّيّة ، يمكننا استخدام طريقة "النوع الأكثر أهمية". وأيا كانت الطريقة التي نختارها ، فإننا لا نزال معرضين لخطر ظهور أكثر من ظاهرة خطّيّة واحدة ضمن حدود خلية واحدة. ولأنه ، في الواقع ، عادةً ما تتقاطع الطرق ، والسكك الحديدية ، فإن احتمالية حدوث هذه المشكلة تظل أكبر بكثير ممّا قد يحدث للبيانات النقطية. إن الاختيار الحذر لفئات البيانات الخلويّة يتيح لنا في الغالب تجنب هذه المشكلة (الشكل رقم ٣,٥). بالطبع ، ما يزال لدينا نفس الخيارات -كما بيّنته البيانات النقطية مع المشكلة هذه نفسها.



الشكل رقم (٣,٥). طريقة النوع الأكثر أهمية للترميز الخلوي. من خلال اتخاذ قرارات حول ما هي الأهداف الأكثر أهمية قبل الترميز الخلوي، فإنك تتخلص من مشكلة وجود هدفين متداخلين أو أكثر في نفس الخلية الشبكية.

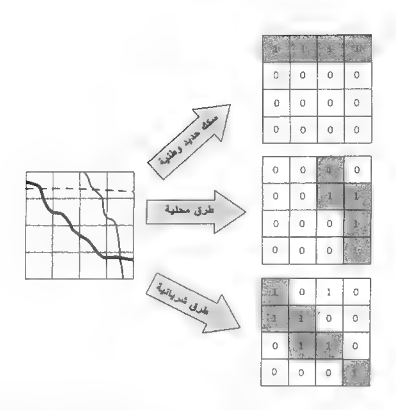
يمكن أن تكون البيانات الخطّيّة فئويّة ، مثل الطرق أو المسارات أو السكك الحديدية ، ويُرمّز كل منها ، عادةً ، ضمن موضوع معين (الشكل رقم ٣,٦)، ومن المرجح أنها ستُدرج في موضوع يسمى المواصلات. وبهذه الطريقة ، فإن كل فئة يمكن إدراجها ضمن موضوع واحد ، وبذلك ستكون وسيلة محكمة نسبياً لتخزين هذه الفئات. يمكن أن تكون البيانات الخطّيّة ، أيضاً ، ترتيبية (مثل : طرق سريعة مفردة ، أو مزدوجة ، أو متعددة المسارات)، أو فاصلية ، أو نسبية (مثل : مبنيّة على أساس تدفق حركة المرور أو العرض المقاس).



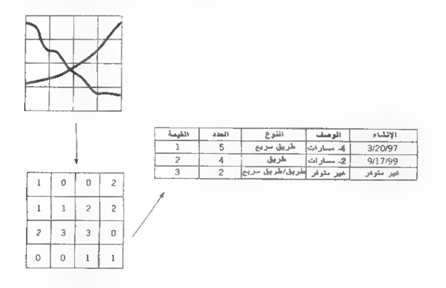
الشكل رقم (٣,٦) يمكنك أن تشمل في الخلية الواحدة أكثر من نوع من البيانات الفزية من خلال فصل المواضيع بدلاً من إبقائها مجتمعة. لاحظ، على سبيل المثال، كيف أن الخلية العلوية اليسرى يمكن أن تحتوى الآن على كل من الطرق والسكك الحديدية.

يمكن أن تُسجل أي من هذه الفئات في شكل موضوع مستقل، أو أنها يمكن أن تكون ضمن موضوع واحد (الطرق، على سبيل المثال)، تماماً كما في حالة الفئات الاسميّة (الشكل رقم ٣,٧). بالنسبة للنموذج الخلوي الموسع، لدينا، أيضاً، فرصة لتخزين بيانات وصفيّة إضافية عند الضرورة سواء كانت اسمية، أو ترتيبية، أو فاصلية، أو نسبية.

يمكننا - كما هو الحال مع البيانات النقطية - أن نرمّز الطرق باعتبارها فئةً واحدة، طرق، ثم نضيف أيّ صفات إضافية، مثل تقارير حوادث المرور وحالة الطريق، إلى جداولنا. وفي هذه الحالة، فإذا كان لدينا - كما في حالة تعدد النقاط في داخل الخلية الواحدة - عدة أنواع من الطرق تمر بخلية واحدة، فإننا نتعرض لخطر عدم التمكن من ترميز كل البيانات الوصفيّة دون تجاوز "الصيغة المعيارية الأولى" (الشكل رقم ٣,٨).



الشكل رقم (٣,٧) ترميز البيانات الترتيبية لاحظ كيف أن الفئات الترتيبية المختلفة من الطريق يمكن أن تمثّل أيضاً بمواضيع مفصلة. بدلاً من ذلك، يمكن إدراجها في شكل بيانات مجدولة ضمن موضوع واحد باستخدام نموذج البيانات الخلوي الموسع.



الإنشاء	الوصف	النوع	العدد	القيمة
3/20/97	4- مسارات	طريق سريع	5	1
9/17/99	2- مسارات	طريق	4	2
غير متوفر	غير متوفر	طريق/طريق سريع	2	3

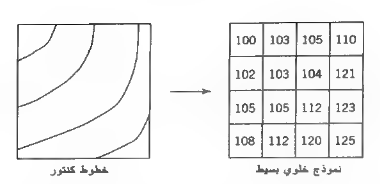
الشكل رقم (٣,٨). نموذج البيانات الخلويّة الموسّع. يصبح إدراج صفات البيانات الخطّيّة أسهل بكثير عند استخدام الجداول ضمن نمــوذج البيانات الخلويّة الموسع. هنا، ترى مثالاً لبيانات خطّيّة ذات درجات ترتيبية مع توصيفات إضافية.

تصوير الحيز المكاني ثلاثيّ البعد بالخلايا الشبكية

تعد السطوح الإحصائيّة غالباً جزءاً أساسياً من قواعد البيانات الخلويّة، خاصة متى ما كان الغرض، على سبيل المثال وليس الحصر، نمذجة السطح التضاريسي. فالسطوح الإحصائيّة - بحكم تعريفها - لا تشمل البيانات الاسميّة أو الترتيبية؛ ذلك بسبب أن معظم بياناتها ذات مستوى نسبي، هذا بالرغم من أن درجات الحرارة (سواء كانت فهرنهايت أو مؤية) تعد أمثلة تقليدية لبيانات السطح ذات المقياس الفاصلي. ويمكن أن تشمل السطوح، أيضاً، بيانات مثل تلك الخاصة بالتسلسل الزمني، والجذب بين الأهداف (مثل: بيانات نموذج الجاذبية أو القوى)، وبيانات الضغط الجوي، والتساقط. وفي كل حالة، تتطلب السطوح الإحصائيّة أن تكون البيانات إما مستمرة، وإما يُفترض أن تكون كذلك، وذلك على أقل تقدير، ومن ثمّ تضم عدداً لا حصر له من النقاط. وهذا يتطلب أن تُؤخذ عينة للسطح الإحصائي وتُرمّز في أيّ تقسيم حاسوبي، سواء كان خطياً أو خلوياً. أما ما يتعلق بالترميز الخلوي للبيانات السطحية، فإن الطريقة مختلفة نوعاً ما عن الطرائق التقليديّة الخمس التي سبق أن تحدثنا عنها. فبدلاً من ذلك، فإننا نسجل قيمة فريدة (مميزة) لكل خلية شبكية. لكن القرار الرئيس الذي يجب اتخاذه هو أن نحدد داخل الخلية الواحدة مكان القيمة المرُمّزة بالضبط. ويكون الخيار، في معظم الحالات، بين المركز المتوسط للخيلة أو أحد أركان الخلية الأربعة. وبالرغم من أن هذا القرار ستكون له آثاره على النمذجة - إلا أن المهم هو أن يتم ذلك باتساق مع كل بياناتك.

لا تحتوي البيانات السطحية، في معظم الحالات، على صفات سوى قيمة (Z) التي تمثّل قيمة الخلية الناتجة من عمليّة أخذ العينة أو عمليّة الاشتقاق (الإدراج البيني). لقد كانت البرامج السابقة لنظم المعلومات الجغرافيّة الخلويّة البسيطة تسجل قيمة صحيحة (كاملة) واحدة لكل خلية شبكية (الشكل رقم ٣،٩)، في حين أن الأحدث من النماذج الخلويّة البسيطة والموسّعة عادة ما تسجل قيما نسبية للخلايا. وحتى في حالة النماذج الخلويّة الموسّعة، لا تُدرج البيانات الوصفيّة الإضافية، عادة، في الجداول الإضافية. وكما رأينا في الفصل الثاني (الشكل رقم ٢،٥)، فإن القيم المسجلة فقط هي قيم الإحداثيات (X, Y, Z).

في الحقيقة، كثيراً ما يُطلق على السطوح الإحصائيّة بسطوح ذات بعدين ونصف (2,5 D)، بدلاً من ثلاثية البعد (3D)؛ ذلك أنها لا تسمح بنمذجة العمق بشكل صريح. لقد بيّن سكوت (١٩٩٧م) أن الجبر الخرائطي ونماذج البيانات الخلويّة يمكن أن توسّع لتشمل بوضوح البيانات والمعلومات الحجمية. ورغم أن نماذج البيانات هذه تعد حالياً نماذج تجريبيّة نوعاً ما، فمن المرجح أنها ستصبح قيد التشغيل في المستقبل القريب. أما ما يتعلق بهذا الكتاب، فإننا سنتخلى عن هذا التوسّع في السطح الإحصائي ونموذج البيانات الخلوي حتى يمكننا التركيز على نماذج البيانات والبرامج المتاحة بسهولة. غير أنه من المهم أن نعترف بهذا الابتكار للقدرات النمذجية المستقبلية، خاصة مع ظهور نظم المعلومات الجغرافيّة هدفية التوجيه الجديدة (Object-Oriented GISs).



الشكل رقم (٣,٩). تمثيل النموذج الخلوي البسيط لسطوح الارتفاع. لاحظ ترجمة خطوط الكنتور (يسار) إلى قيم خلوية منفردة (يمين).

التفكير حول رياضيات الخرائط

كما لاحظنا سابقاً، فالتصوّر الأكثر مرونةً وأناقةً لتغطيات أو مواضيع نظم المعلومات الجغرافيّة الخلويّة ما هو إلا نوعاً من سلاسل القيم العددية مرتبة في شكل صفوف وأعمدة، كما هو الحال في حزمة التحليل الخرائطي (MAP). يمكننا وبشكل أكثر تحديداً، وبناءً على هذا النموذج، أن ننظر إلى كل موضوع خلوي على أنه مصفوفة صفات ثنائية البعد، كل واحدة منها مُمثلة ببعض القيم الحسابيّة أو الرياضيّة (أو قيم، في حالة نموذج حزمة التحليل الخرائطي الموسّع)، والذي تكون فيه مواقعها على الأرض مُرمّزة ضمنياً على أساس موضع الصف والعمود في المصفوفة. وعلاوة على ذلك، ولأجل أن يكون لذلك فائدة في النمذجة، يجب أن يتوافق كل موقع خلية لكل موضوع إضافي توافقاً تاماً مع العمود والصف النظيرين له في المواضيع الأخرى.

يعد الإدراك الحدسي والأساسي لهذا البناء ضرورياً جدا للنمذجة بنظام المعلومات الجغرافيّة الخلوي، إذ تعتمد عليه جميع المعاملات والوظائف وإجراءات التحكم بسير وتدفق العمليات والمنهجيات أو التقنيات المتكررة اللازمة لإنشاء وتقديم النماذج. هذا بمثابة فهم رقعة الشطرنج، ومربعاتها الحمراء مقابل السوداء، والقواعد التي تفرضها تلك البنية. وسننتقل، قريباً جداً، إلى عمليات ووظائف نظام المعلومات الجغرافيّة الخلويّ على أساس التركيب أو البناء الذي يقوم عليه. ولمواصلة التشبيه بالشطرنج، هذا يعادل فهم تحركات قطع الشطرنج الفردية والقواعد، والقدرات، وحدود كل قطعة، إذ أنك لن تبدأ لعب الشطرنج دون فهم كل من لوحة اللعبة والقطع. وبالمثل، فإننا سوف نتعلم المزيد ممّا يشبه ذلك في نظم المعلومات الجغرافيّة. ومثلما هو الحال بالضبط مع الشطرنج، فإننا سوف نمضي قدما في النهاية إلى الإستراتيجية، وأشكال الحركة، والمخالفات، والدفوع، وذلك لنصبح أولاً متمكنين ثم متقنين، وربما منجزين، ومن خلال الكثير من الخبرة، نكون في النهاية خبراء نمذجة.

مقارنة واختلاف مع المصفوفة الجبريّة

يمكن تصور الجبر الخرائطي على أنه القواعد والإجراءات التنفيذية التي تستخدم في إطار نموذج البيانات الخلويّة لحزمة التحليل الخرائطي (MAP) والقدرات التي يقدمها لنا. وكما رأينا سابقاً، يقوم الجبر الخرائطي على نموذج البيانات الأساسي لحزمة التحليل الخرائطي، خاصة مفهوم المصفوفة الثنائية البعد لكل موضوع. ففي الرياضيات، تسمح المصفوفة هذه بمجموعة من الإجراءات الحسابيّة أو الرياضيّة تُسمى بالمصفوفة الجبريّة لتُطبق على عمليات الاتحاد والمقارنة والمعالجة لأعداد المصفوفة. يمكننا، إذن، أن نضيف المصفوفات العددية، من خلال أخذ كل قيمة عددية عند كل موقع لكل مصفوفة وإضافتها إلى القيمة المناظرة لها. انظر، على سبيل المثال، إلى معادلة المصفوفة الجبريّة التالية:

$$\begin{bmatrix} 5 & 4 & 1 \\ 2 & 1 & 2 \\ 4 & 2 & 1 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 3 & 2 & 1 \\ 1 & 4 & 5 \\ 2 & 7 & 3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 8 & 6 & 2 \\ 3 & 5 & 7 \\ 6 & 9 & 4 \end{bmatrix}$$

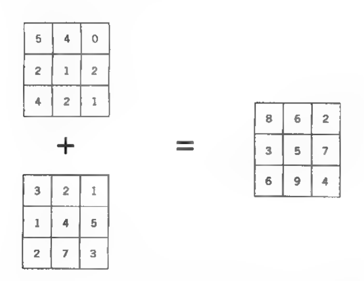
انظر كيف أن العدد في أعلى اليسار (٥) في المصفوفة الأولى تمت إضافته مع العدد (٣) في أعلى اليسار من المصفوفة الثانية للوصول إلى العدد (٨) في أعلى اليسار من المصفوفة المُخرجة (أقصى اليمين)، وكذا الحال مع بقية الأعداد الثمانية في المصفوفات. ولنقم الآن بتغيير طفيف للمصفوفات لإنتاج التالي:

$$\begin{array}{|c|c|c|} \hline 5 & 4 & 1 \\ \hline 2 & 1 & 2 \\ \hline 4 & 2 & 1 \\ \hline \end{array} + \begin{array}{|c|c|c|} \hline 3 & 2 & 1 \\ \hline 1 & 4 & 5 \\ \hline 2 & 7 & 3 \\ \hline \end{array} = \begin{array}{|c|c|c|} \hline 8 & 6 & 2 \\ \hline 3 & 5 & 7 \\ \hline 6 & 9 & 4 \\ \hline \end{array}$$

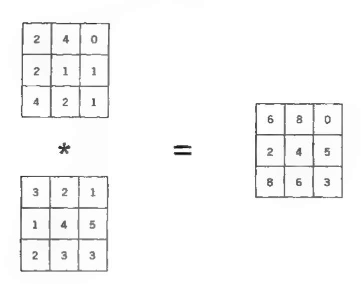
لاحظ كيف أن للمصفوفات الآن خلايا شبكية تحيط بها. هذا يدل على أن المصفوفات في جمع المصفوفة متماثلة فعليا مع الخلايا الشبكية المستخدمة في الجبر الخرائطي، وأن عمليّة إضافة المصفوفات مطابقة لعمليّة الجمع في الجبر الخرائطي. كما يمكن، أيضاً، استعراضها بأحد أساليب العرض المعروفة للخرائط الخلويّة (الشكل رقم ٣,١٠).

ومثلما أن لعمليّة جمع المصفوفات نظير مماثل لها تماماً في الجبر الخرائطي، فكذلك عمليّة طرح المصفوفات، حيث يتم طرح الأعداد عند كل موقع خلية في المصفوفة الأولى من الموقع المقابل لها في المصفوفة الأخرى للحصول على القيم الناتجة. ونفس الفكرة مرة أخرى تترجم مباشرة إلى الجبر الخرائطي؛ ذلك إن كل خلية شبكية في موضوع واحد تُطرح من الخلية المقابلة لها في الموضوع الآخر. وإذا كنت قد درست جبر

المصفوفات، فإنك تدرك إن هذا التوافق الموقعي "واحد لواحد" لا ينطبق على تلك الوظائف مثل الضرب، والقسمة، والجذور، والقوى. وهذا هو الجزء الذي يتشارك فيه كل من الجبر الخرائطي وجبر المصفوفات. ففي الجبر الخرائطي، يتم الحفاظ على الانتقال الموقعي "واحد مقابل واحد". وهكذا، فبضرب خرائط موضوعيّة بسيطة مكونة من (٤ × ٤) خلايا داخل الجبر الخرائطي، فإننا نحافظ على نفس القواعد التي طبقناها على جمع المصفوفة وطرحها (الشكل رقم ٣,١١). يعد الإبقاء على هذه القاعدة الأساسية البسيطة ضرورياً؛ ذلك لأنه، وبخلاف ما هو موجود في المصفوفات الرياضيّة، ترتبط كل مواضع الخلايا الشبكية في الطبقات الخلويّة مباشرةً بمواضعها في المجال أو المكان الجغرافي. ونتيجة تطبيق هذه القاعدة الأساسية على ساحة جبرنا الخرائطي (نموذج بياناتنا المشابه لحزمة التحليل الخرائطي– ماب) هو إن قيم خلايانا الشبكية يمكن أن تُعدل إلا أن مواقعها لا تُنقل أو تُحرك. لهذا، فجميع المعاملات، والوظائف الأساسية، ومراقبة سير العمليات، وعمليات التكرار أو المعاودة للجبر الخرائطي وتوسيعاته، كلها تعتمد على هذه القاعدة. وبالإضافة إلى ذلك، تعد هذه المعرفة ضرورية لأولئك الذين يستخدمون تقنياتُ الأوامر البرمجية لتحسين وتعديل نموذج البيانات الأساسي وواجهته الخاصة بالمستخدم. سوف نناقش هذا الموضوع لاحقاً، أما الآن، فسندرس بعض هذه العمليات الأساسية المتاحة داخل رزم البرامج التي تستخدم شكلاً من أشكال الجبر الخرائطي. تذكر وأنت تمر خلال الأقسام اللاحقة، أن كل نظم المعلومات الجغرافيّة الخلويّة تتعامل مع استخدام الجبر الخرائطي بطرائق مختلفة. حاول أن تضع المفاهيم بدلاً من الأوامر في صدارة ذهنك خلال تعلمك كيفية عمل الجبر الخرائطي.



الشكل رقم (٣,١٠). جمع الخرائط. تماثل عمليّة جمع الخرائط عمليّة جمع المصفوفات تماماً، إذ تُضاف كل خلية شبكية إلى الخلية المقابلة لها في المواضيع الخلويّة المنفصلة.



الشكل رقم (٣,١١). الضرب الخرائطي. خلافاً لضرب المصفوفة، يُحدّد موقع كل خلية بشكل صريح في الضرب الخرائطي، وتستمر عمليّة ضرب خريطتين بعضهما ببعض بواسطة ضرب كل خلية بالخلية المشاركة لها في المكان.

مدخل إلى المعالجَات بالجبر الخرائطي

يعد الجبر الخرائطي، بالرغم من تركيبه البسيط، أو ربما بسببه، لغةً نمذجيةً محكمةً جداً. يُستخدم بعض أشكاله في العديد من حزم برامج نظم المعلومات الجغرافيّة الخلويّة المشهورة، مثل: GRASS؛ و ERDAS-GIS MOD؛ و ArcView Spatial Analyst؛ و ArcInfo GRID. فبعضها يسمح بتكديس مباشر للمواضيع بحيث يمكن تنفيذ حسابات المقارَنة في الجبر الخرائطي مباشرة من موضوع إلى آخر، في حين أن البرامج الأخرى تقوم بمحاكاة هذه العمليّة مع استخدام شكل من أشكال الآلة الحسابيّة للجبر الخرائطي، والنتيجة، في معظمها، هي نفسها.

ربما أنك قد أدركت الفكرة في قسمنا السابق، وهي أن الجبر الخرائطي ما هو إلا مجرد نسخة معدلة من جبر المصفوفات. وبالرغم من أن هذا في حد ذاته، يعد في الواقع إنجازاً كبيراً في معالجة الخريطة الخلويّة - إلا أنه أبعد ما يكون عن الإنجاز الكافي. إن الجبر الخرائطي هو في الحقيقة لغة نمذجية كاملة، فقد تنامى بسرعة ليصبح المعيار القياسي في الصناعة؛ حيث يسمح بالتحكم في البرنامج، وتطوير الأوامر البرمجية، وبرمجة التكرار، وكذلك السماح بالمعالجات الرياضيّة لقيم المواضيع الخلويّة. في الحقيقة، حتى عمليات تحليل قيم المواضيع الخلويّة ومعالجتها لا تقتصر على الرياضيات، بل تشمل، أيضاً، مجموعة واسعة من التعابير المنطقية (Logical Expressions) التي يمكن استخدامها لمقارنة القيم الموضوعيّة ضمن مواضيع منفردة وبين المواضيع المتعددة. وهكذا، فمن خلال الجمع بين المعاملات الرياضيّة والمنطقيّة البسيطة والوظائف الأكثر تعقيداً، وباستخدام التحكم والتكرار، نستطيع أن ننشئ

نماذج معقدة على أساس الاستراتيجيات التي تلائم احتياجاتنا الخاصة من البيانات والنمذجة. وقبل أن نبدأ هذه النمذجة المعقدة، سوف ننظر أولاً في أنواع العمليات المتاحة لنا.

المعامِلات

إن أكثر الخصائص الوظيفيّة الأساسية لحزم نظم المعلومات الجغرافيّة المبنيّة على لغة الجبر الخرائطي النمذجية هي نفس العمليات التي نقوم بها في معظم مجالات النمذجة الأخرى. وكما قلت سابقاً، فإن هذه المجموعة من الخصائص، المسماة بالمعامِلات (Operators)، يمكن تقسيمها إلى عدة مجموعات – حسابية (Arithmetic)، وعلائقية (Relational)، وبِتّية (Bitwise)، وبوليانية (Boolean)، واندماجية (Combinatorial)، ومنطقيّة (Logical)، وتراكميّة (Accumulative)، والتخصيص (Assignment). وتشمل هذه المعامِلات – مثلما قد تتوقع – الوظائف الأساسية المرتبطة غالباً بلغات ترجمة المعادلات الحاسوبية، مثل ترجمة المعادلات في لغة فورتران (FORTRAN). يبيّن الجدول رقم (٣,٣) مجموعات المعامِلات المتوفرة والمشهورة.

الجدول رقم (٣,٣). مجموعات المعامِلات.

مجموعة المعامِلات	المعامِل	المعامِل	المعامِل	المعامِل	المعامِل	المعامِل
الحسابيّة	+	-	*	/	mod	.
العلائقية	›	‹	==	>=		.
البِتّية	»	«				.
البوليانية	&&	I	!			...
الاندماجية	And	or				...
المنطقيّة	In	diff				...
التراكمية	+=	*=	-=			...
التخصيص	=					..

المعامِلات الحسابيّة: هناك خيارات كثيرة – كما ترى – في معاجلة قيم الخلايا الشبكية. تشمل الوظائف الحسابيّة عمليات الجمع، والطرح، والضرب، والقسمة، ومعامِل أو مُعاير باقي القسمة (Modulus) (أعداد صحيحة أو كاملة فقط)، وكلها مطلوبة في بناء النماذج الرياضيّة داخل نظام المعلومات الجغرافيّة الخلوي. ستعمل معظم هذه المعامِلات على الأعداد الصحيحة بنفس الكفاءة على الأعداد الكسرية. كما أن نتائج العمليات تعتمد على أنواع البيانات المستخدمة في العمليات، فعلى سبيل المثال، إذا استخدمت الأعداد الصحيحة فقط، فإن النتائج ستكون أعدادا صحيحة. وإذا استخدمت الأعداد الكسرية في أي من العمليات – خذ على سبيل المثال، ضرب قيم كسرية

بقيم صحيحة أو كسرية – فستكون القيم الناتجة كسرية. غير أن المعامِل الحسابي الوحيد الذي يُقيِّد بنوع البيانات، هو معامِل باقي القسمة (MOD)، الذي يرجِّع قيماً صحيحة دائماً. فإذا طُبق هذا الحساب المعامِلي على أعداد كسرية، فإن أيّ باقٍ في العدد سوف يُبتر وستُحول النتيجة إلى عدد صحيح. وبغض النظر عن أيّ معامِل حسابي تستخدم، فإذا كانت هناك خلايا بدون قيم (بافتراض أن نظامك يسمح بالقيم المفقودة أو بالقيم التي تشير صراحةً بعدم وجود قيم NoData)، فإن النتيجة ستكون دائماً "لا يوجد بيانات". ضع في اعتبارك أن في معظم نظم المعلومات الجغرافيّة، لا يعني بالضرورة وجود الصفر في الخلية أنه لا توجد بيانات أو أن البيانات مفقودة. ففي معظم الأحيان، تكون فئة البيانات غير الموجودة (NoData) ضمن الخلايا المجدولة في نموذج البيانات الخلوي الموسّع. يوضح الشكل رقم (٣,١٢) الشكل المعتاد لاستخدام المعامِل الحسابي على أساس ضرب موضوعين بعضهما ببعض.

مصفوفة مُدخلة

1	6	2	1
2	8	4	3
5	9	5	1
1	2	5	6

*

3	1	4	1
4	1	1	3
1	1	1	1
7	4	1	1

مصفوفة مُدخلة

=

مصفوفة مُخرجة

3	6	8	1
8	8	4	9
5	9	5	1
7	8	5	6

الشكل رقم (٣,١٢). مثال على ضرب مصفوفة خرائطية ذات أبعاد ٤ x ٤، يبيّن كيف أن مصفوفتين مُدخلتين تم ضربهما بعضهما ببعض للحصول على النتيجة النهائيّة. يماثل هذا عمليا المثال في الشكل رقم (٣,١١)، لكنه يوضح هنا أن كل مجموعة من القيم تمثّل الخريطة في شكل مصفوفة من القيم.

المعامِلات العلائقية: إن المعامِلات العلائقية هي تلك الأنواع من المعامِلات التي تتوقع أن تجدها، عادةً، ضمن نظم إدارة قواعد البيانات لاستخدامها مع الجداول. ويمكن القول باختصار، أن هذه المعامِلات تقوم بتقييم شرط أو حالة (Condition)، فإذا كان الشرط غير صحيح (False) فإن الناتج يُخصَّص له قيمة صفر (٠)، وإذا كان

الشرط صحيحا (True) فيُخصَّص واحد (١) للمخرج أو الناتج. وكما هو الحال مع المعامِلات الحسابيّة، فإذا كانت الحالة أو الشرط "لا يوجد بيانات" (No-data)، فإن عمليّة التقييم تنتج، أيضاً، "لا يوجد بيانات". أما الحالات الشرطية التي تُقيَّم فتشمل: أكبر من؛ وأقل من؛ وأكبر من أو يساوي، وغيرها كثير. تشتغل المعامِلات العلائقية على أعداد صحيحة وكسرية، وتتطلب وجود قيمتين مُدخلتين للمقارنة، على الأقل. يبيّن الشكل رقم (٣,١٣) استخدام المعامِل العلائقي أكبر من أو يساوي (=<) حيث يقارن القيم العددية للمصفوفة المُدخلة لتحديد أيّ قيمها الخلويّة أكبر من أو مساوية للقيم في المصفوفة الثانية. لاحظ كيف أن الخلايا التي لا يوجد لها بيانات أنتجت بعد التقييم خلايا من نفس النوع (لا يوجد بيانات).

المصفوفة المُدخلة الأولى

1	0	3	5
6	9	3	1
0	2	7	0
2	8	5	1

>=

3	7	8	1
5	9	4	0
2	3	7	8
7	2	7	0

المصفوفة المُدخلة الثانية

=

المصفوفة المخرجة

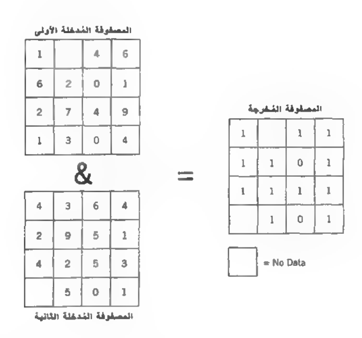
0	0	0	1
0	1	0	1
0	1	1	0
0	1	0	1

الشكل رقم (٣,١٣). المعامِل العلائقي. نلاحظ أن قيم الخلايا في المصفوفة الأولى قورنت بتلك في المصفوفة المُدخلة الثانية، فعندما تكون القيم في المصفوفة الأولى أكبر من أو مساوية للقيم في المصفوفة الثانية يتم تسجيل قيمة (١) في المصفوفة المُخرجة، في حين تُسجل قيمة (٠) عندما لا يتحقق الشرط

المعامِلات البوليانية: توظف المعامِلات البوليانية المنطق البولياني (صحيح أو غير صحيح) وتقيّم الشروط – كما رأينا ذلك مع المعامِلات العلائقية. تنتج هذه المعامِلات قيمة واحد (١) عند تحقيق الشرط، وصفر (٠) إذا لم يتحقق الشرط، وتعمل على الشبكات والقيم العددية النسبية (Scalars)[1] والأرقام (Numerals) أو المزج

(١) عدد أو رقم من اختيار المستخدم حسب الهدف أو التحليل المطلوب (المترجم).

بينها، وتتطلب وجود قيمتين مُدخلتين، على الأقل. أما قيم "لا يوجد بيانات" فتبقى كما هي بعد التقييم؛ قيم من نفس النوع "لا يوجد بيانات". يبيّن الشكل رقم (٣,١٤) معامِل علائقي نموذجي باستخدام وظيفة (&) (التي تعني "و" and)، والمعروفة، أيضاً، بالتقاطع أو التداخل (Intersection). يوضح الشكل كيف أن الخلايا الشبكية التي تحمل قيماً في كلا الموضوعين أصبحت تحمل كلها قيمة واحد (١)، في حين خُصِّصت قيمة صفر للخلايا التي ليس لها قيم في الموضوعين أو في أحدهما. لاحظ، أيضاً، الخلايا التي لا يوجد لها بيانات (خلية واحدة فقط).



الشكل رقم (٣,١٤). المعامِلات البوليانية. تقارن هذه المعامِلات قيم المصفوفتين المُدخلتين لتقييم وجود أو غياب القيم في مجموعتي الخلايا الشبكية. عندما توجد قيم غير صفرية في كلا المصفوفتين تُسجل قيمة (١). وإذا احتوت خلية واحدة مقابلة أو أكثر على قيمة الصفر (٠) في أي من المصفوفتين، تُرجّع قيمة صفر. أخيراً، عندما لا يوجد بيانات (NoData) في أي من المصفوفتين، يرجّع البرنامج نفس القيم؛ "لا يوجد بيانات" (NoData).

المعامِلات البتِّيَّة: تقوم المعامِلات البتّية في حساباتها على التمثيل الثنائي (Binary) لمجموعة واحدة مدخلة من قيم المصفوفة، وتعمل على القيم الكاملة (غير الكسرية) فقط. وإذا اُستخدمت الأعداد الكسرية على أنها مُدخلات، فإنها ستُبتر أولا قبل أن تُقيّم؛ مما يعني أن القيم الناتجة تكون أعداداً كاملة دائماً. وكما هو الحال مع المعامِلات البوليانية والعلائقية، فإن نتائج استعمال القيم من نوع "لا يوجد بيانات" سوف ينتج نفس هذا النوع من

هذه القيم. يوضح الشكل رقم (٣,١٥) استخدام المعامِل البتّي ١>>، والذي يعني أن كل القيم غير الصفرية ستُحوّل إلى نظيراتها الثنائية. ومثل ما قد تتوقع، فالأعداد في المصفوفة المُدخلة التي تساوي (١) ستُحوّل إلى (٢) في المصفوفة المُخرجة، كما أن (٢) ستُحوّل إلى (٤)، و(٤) إلى (٨)، وهلمّ جراً.

المصفوفة المُدخلة

1	0	1	1
2	4		1
1	2	4	2
2	1	4	2

<<1 =

المصفوفة المُخرجة

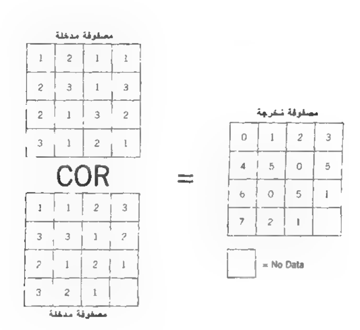
2	0	2	2
4	8		2
2	4	8	4
4	2	8	4

= No Data

الشكل رقم (٣,١٥). المعامِلات البتية. مقارنة بين خلايا الشبكة لقيمة (١). تُحوّل قيم (١) إلى مكافئها البتّي (٢)، وقيم (٢) تتحـول إلى (٤)، وهكذا.

المعامِلات الاندماجية: تشترك المعامِلات الاندماجية كثيراً مع المعامِلات البوليانية، غير أنها تخصص قيما محدّدة على نتائج تقييم موضوعين أو أكثر من المواضيع أو المصفوفات. ويعد هذا تعميما للعامل البولياني، الذي يُقيم الشرط الصحيح بقيمة (١) والشرط غير الصحيح بقيمة صفر (٠). وفي حالة المعامِل الاندماجي، إذا أصبحت كلا القيمتين المُدخلتين (أو كل القيم) بعد التقييم قيما صحيحة (غير صفرية)، فإن مواقع الخلايا على الشبكة الناتجة يُخصّص لها قيمة عددية معينة، وذلك لحفظ الطابع الفريد للدمج. فمقارنة (١) مع (٢)، على سبيل المثال، سينتج منها قيمة مُخرجة مختلفة عما تنتجه مقارنة (١) مع (٣). هذه الأرقام غير متماثلة، أيضاً، فمقارنة (١) في المصفوفة الأولى مع (٣) في الثانية لن يعود بنفس القيمة الناتجة كما لو كان العكس؛ (٣) في المصفوفة الأولى مقارنةً مع (١) في المصفوفة الثانية. وتسمح بعض البرامج القديمة (مثل، OSU-MAP) للمستخدم بتحديد القيم الناتجة أثناء إجراء المقارنات. ولضمان المحافظة على أن تكون النتائج فريدة من تحليل المُدخلات والمُخرجات غير المتماثلة، تكون القيم المخصصة كما في بعض البرامج، مثل ArcGrid، مبنيّة على أساس الترتيب الذي تجري عليه عمليّة التقييم. لهذا، إذا كانت المقارنة، على سبيل المثال، لـ (١) في المصفوفة الأولى مع (٤) في المصفوفة الثانية حدثت قبل أيّ مقارنة لـ (٤) في المصفوفة الأولى مع (١) في المصفوفة الثانية، فسوف يُخصص للمقارنة الأولى (الترتيب الأول) قيمة أقل مما يخرج من المقارنة الثانية. يقدم الجدول رقم (٣,٤) مثالاً لكيفيّة

تحقيق ذلك. لاحظ أنه إذا رُتبت مجموعات القيم (مثلاً، ١ مقارنةً مع ٤) في زوج واحد من الخلايا الشبكية ثم صودفت هذه المجموعة مرة أخرى بنفس الترتيب، فإنه سيتم تخصيص نفس القيمة. وبهذه الطريقة، فكل اندماجات الخلايا المتماثلة في الترتيب ستحظى بنفس القيمة الناتجة. يبيّن الشكل رقم (٣,١٦) مثالاً بسيطاً لتطبيق المعاملات الاندماجية.



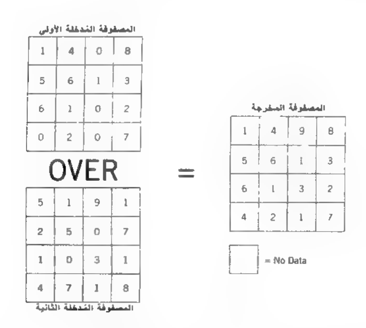
الشكل رقم (٣,١٦). المعاملات الاندماجية. يُخصص للقيم المقابلة لكل خلية شبكية قيم فريدة لتمثيل الطابع الفريد للاندماجات.

الجدول رقم (٣,٤). المعاملات الاندماجية.

المصفوفة الأولى	المصفوفة الثانية	النتيجة
١	١	٠
٢	١	١
١	٢	٢
١	٣	٣
٢	٣	٤
٣	٢	٥
٢	٢	٦
٣	٣	٧

يستطيع منمذج نظم المعلومات الجغرافيّة بالمعامِلات الاندماجية أن يقرر أيّ القيم التي يمكن تطبيقها لكل عمليّة دمج (أو مقارنة) للخلايا الشبكية. يعد كل زوج من المقارنة مقارنةً لا تماثلية ؛ أي أن مقارنة (١) مع (٢) ليس كمقارنة (٢) مع (١).

المعامِلات المنطقيّة: بالإضافة إلى ما رأيناه سابقاً في المعامِلات البوليانية، هناك بعض المعامِلات الإضافية التي تستخدم المنطق الذي تقوم عليه المجموعات (Sets). يوجد بشكل عام ثلاثة معامِلات منطقيّة إضافية على أساس المنطق، وتشمل: فرق أو اختلاف المجموعة (DIFF)- كما يمكن ترجمتها، أيضاً: معرفة الاختلاف ؛ والمشمولة أو الواردة في (IN) ؛ وفوق أو على OVER. كل معامِل من هذه المعامِلات يقارن، عادةً، القيم على أساس أزواج من المصفوفات. فيقارن معامِل DIFF مصفوفتين مُدخلتين لتحديد مقدار الاختلاف أو التشابه بين قيمهما. ورغم أن هذا لا يمكن تعميمه - إلا أن معظم البرامج تُبقي على قيمة المصفوفة الأولى المُدخلة إذا اختلفت عن نظيرتها في المصفوفة الثانية. وإذا تشابهتا (القيمتان) في المصفوفتين، يرجِّع البرنامج قيمة صفر (٠). وبعبارة أخرى، كل الأعداد غير الصفرية الناتجة تشير إلى أنه حدث بعض التغيير، ربما تغيير من وقت لآخر.



الشكل رقم (٣,١٧). المعامِلات المنطقيّة. يعيد معامِل OVER القيمة من المصفوفة الأولى المُدخلة بشرط ألا تكون صفراً، وإذا وُجد الصفر في المصفوفة الأولى تُرجّع القيمة (غير الصفرية) من المصفوفة الثانية.

يشبه المعامِل IN المعامِل DIFF في أنه يقبل ويقارن مُدخلين، لكن لا يلزم أن يكونا خرائط شبكية. وفي معظم الحالات، يكون المُدخل الأول عبارة عن تعبير (غالباً، قائمة أرقام أو شبكة خلوية) ويكون المُدخل الثاني مجموعة

من الأرقام. تكمن الفكرة في أن تختار مسبقاً مجموعة الأرقام التي على أساسها تتم عمليّة مقارنة القيم في مصفوفتك الشبكية. فإذا أردت، على سبيل المثال، أن تعزل عدة (لنقل خمسة) استخدامات أرضية مُرمّزة بخمس قيم كاملة منفردة، وأردت، أيضاً، أن تستثني كل ما بقي من القيم (يسمى ذلك أحياناً قِناعاً Mask في مجال الاستشعار عن بعد)، فإن هذه الطريقة مفيدة جداً. يُبقي الناتج أو المُخرَج على كل القيم من المُدخل الأول والتي هي مشمولة، أيضاً، في المُدخل أو المجموعة الثانية، أما تلك التي لا توجد في المُدخل الثاني فتصبح صفراً في المُخرج. يبحث عامل OVER – والذي يقبل، أيضاً، مُدخلين – عن الأصفار. فجميع القيم غير الصفرية من المصفوفة الأولى المُدخلة تُرجّع أو تعود في المُخرج، وإذا اُكتشف الصفر، سيرجّع البرنامج القيمة المُدخلة الثانية في المُخرج. تشبه هذه العمليّة عمليّة IN – إلا أن كلا المُدخلين مصفوفتان. يبيّن الشكل رقم (٣,١٧) مثالا لعمليّة OVER.

المعامِلات التراكمية: إن المعامِلات التراكمية مصممة للحركة عبر خريطة خلوية، خاصةً لتحليل السطح التراكمي من خلال عمليات القراءة الرقمية الضوئية –أو ما يعرف بالمسح (Scanning)– المتنوعة. تُستخدم شبكة واحدة كمُدخل ويُخصص لها نتيجة تراكمية في شكل عدد واحد (مفرد). فإذا كنت، على سبيل المثال، ستستخدم معامِل =+، فإن النظام يبدأ في زاوية من الشبكة (يستخدم برنامج GRID الخلية العلوية اليسرى في المصفوفة)، ثم ينتقل إلى الخلية الأولى إلى اليمين منها مباشرة ويضيف قيمة تلك الخلية إلى قيمة الخلية الأولى (خلية الزاوية)، ويستمر المسح (القراءة) إلى الخلية التالية ويضيف قيمتها إلى مجموع قيمتي الخليتين الأوليين. وهكذا، تستمر العمليّة بهذه الطريقة حتى تنفد خلايا الشبكة. وكما رأينا مع المعامِلات الأخرى، يتم تجاهل الخلايا التي لا يوجد لها بيانات (no-data)؛ وفي هذه الحالة، فإنها لا تستخدم على الإطلاق في حسابات التراكم. ويوضح الشكل رقم (٣,١٨) مثالاً على العامل التراكمي (=+).

المصفوفة المُدخلة

1	0	1	1
2	4		1
1	2	4	2
2	1	4	2

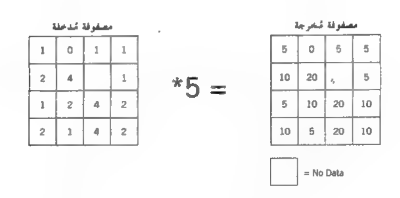
(القيمة المُخرجة = 28)

+= VALUE = 28

☐ = No Data

الشكل رقم (٣,١٨). المعامِل التراكمي. تُضاف قيم جميع خلايا الشبكة للوصول إلى قيمة عددية مفردة. نجد في هذه الحالة، أن كل قيم الخلايا المُضافة تساوي ٢٨.

معامِلات التخصيص: إن آخر مجموعة المعامِلات هي معامِلات التخصيص. تخزِّن هذه المعامِلات نتائج التعابير (Expressions) في مُخرج (عادةً، مصفوفة خلايا شبكية). كل ما يقوم به هذا المعامِل ببساطة هو تخصيص قيمة واحدة لجميع خلايا الشبكة المُدخلة. يمكن أن يشمل ذلك، أيضاً، التعابير الرياضيّة الأكثر تعقيداً والمعامِلات الحسابيّة. فعلى سبيل المثال، يمكن إنشاء مصفوفة مُخرجة من خلال ضرب موضوع واحد بآخر، أو ضرب مصفوفة شبكية بقيمة واحدة، مثل ضرب مصفوفة مُدخلة بقيمة (٥). هذه الحالة الأخيرة موضحة في الشكل رقم (٣,١٩). وبالإضافة إلى ذلك، يمكن استخدام القيم المجدولة في النموذج الخلوي الموسع لمعالجة القيم الخلويّة في شبكة منفصلة.



الشكل رقم (٣,١٩). معامِل التخصيص. تسمح هذه المعامِلات للمستخدم بتخصيص قيم حسب طبيعة المُخرج الذي تريده. وفي هذه الحالة، يضرب المعامِل كل قيمة خلية في المصفوفة المُدخلة بـ (٥).

الوظائف

تعد الوظائف (Functions) من العمليات ذات الرتبة العليا في نظم المعلومات الجغرافيّة والمبنيّة من المعامِلات الأساسية التي استعرضناها للتو، والمصممة لتوفير وسيلة لتطبيق النموذج. إن الوظائف مُقسمة إلى مجموعات: المحليّة (Local)؛ والتركزيّة – أو محورية– (Focal)؛ والكتليّة (Block)؛ والنطاقيّة (Zonal)؛ والشموليّة (Global)؛ والأنواع الخاصة. سنتطرق، في الفصل التالي، إلى الوظائف عن قرب أكثر؛ ومع ذلك، سوف نقدم، هنا، بعض المفاهيم الأساسية والتعاريف التي تشكل اللبنات الأساسية المهمة للغة الجبر الخرائطي النمذجية.

إن الوظائف المحليّة، ويُطلق عليها، أيضاً، الوظائف ذات الخلية الواحدة، مُصممة لتعمل على أساس خلية بخلية. وبعبارة أخرى، يحدث العمل على النحو التالي: تُعالج كل خلية شبكية في أول مصفوفة إما بواسطة تعبير معين (أمر برمجي)، وإما بواسطة خلية شبكية في مصفوفة أخرى تقابل موقع الخلية الأولى في المصفوفة الأولى. كما

أن الوظائف التركزيّة، أو ما يُعرف بوظائف الجوار، تشخّص أو تعيد تصنيف خلية مختارة على أساس خصائص جوار خلوي محدّد سلفاً.

تماثل الوظائف الكتليّة، أو وظائف المساحة، الوظائف التركزيّة في أنها تقوم بتقييم مجموعات من خلايا الشبكة لتنفيذ عمليّة إعادة تخصيص لقيمها. وفي هذه الحالة، فإنها تُخصص النتائج، على أي حال، لكامل الكتل الخلوية، والمجموعات الخلايا التي لا تتداخل مع بعضها.

تستخدم الوظائف النطاقيّة، أو وظائف الإقليم أو المنطقة، مناطق (نطاقات) مُحدّدة سلفا من تغطية (طبقة) أخرى لتقييم وإعادة تصنيف خلية مستهدفة معينة. تمثّل المناطق فعليا مساحات جغرافيّة، سواء كانت متجاورة، أو مجزأة، أو مخلخلة، والتي عادةً ما تُحدّد بالتجانس الداخلي لصفاتها.

أما الوظائف الشموليّة - وكما يوحي الاسم وخلافا لما سبقها من أنواع الوظائف - تعمل على كامل المصفوفة الشبكية كلها دفعة واحدة. وترتبط هذه الأنواع من الوظائف، في أغلب الأحيان، بالتحليل الهندسي الإقليدي، وتحليل المسافة والمسار الأقصر، وتحليل الرؤية.

وفيما عدا هذه الوظائف، فهناك بعد مجموعة وظائف خاصة أكثر تعقيداً، في الغالب مجموعة تكاملية محددة من الوظائف البسيطة؛ بمعنى تعمل في تكامل حسب اختيار أو هدف معينين. وتُستخدم هذه الوظائف المتخصصة أساسا في التحليل الهندسي المعقد، ونمذجة وتحديد الخصائص المائية، وتحديد خصائص السطح وتحليله.

ليس كل برامج نظم المعلومات الجغرافيّة تحتوي على جميع هذه الأنواع من الوظائف، ولكن تتضمن معظم برامج نظم المعلومات الجغرافيّة الخلويّة الإحترافية إمكانات لبناء الأوامر البرمجية لتنفيذ هذه القدرات. ولعلك قد أدركت، فإن وجود نموذج للبيانات مشابه لبرنامج ماب (MAP) يعد أمراً مفيداً، إن لم يكن أساسياً، لتنفيذ أمثل للنموذج. وقبل أن يتم مثل هذا التنفيذ، فإنه من الضروري أن تكون قادراً على إصدار الأوامر التي تتحكم في تدفق أو سير العمليات، وهذا ما سوف نراه في الجزء التالي.

التحكم بسير العمليات

تعد مراقبة أو التحكم بسير العمليات جزءا لا يتجزأ من الجبر الخرائطي. وهو يوفر الوظائف الأساسية مثل التشغيل والتوقف، وتوفير مجموعة من الأساليب المتّبعة التي يمكن أن تتضافر لإنشاء إطار أوامر برمجية يستطيع المستخدم من خلاله التفاعل مع برنامج نظم المعلومات الجغرافيّة. وبالرغم من أن تملن وبيري (١٩٧٩م) طوراً صيغة مبكرة لهذا الإطار لحزمة التحليل الخرائطي (برنامج ماب) الأصلية - إلا أن هذه الصيغة قد عُدّلت بدرجة أكبر أو أقل لكل صيغ نموذج البيانات الأصلي هذا. وعليه، فإن طبيعة إطار ضبط سير العمليات وتركيبه يختلفان من حزمة إلى حزمة. *سنعتمد نفس الصيغة أو البيئة التي استخدمها تملن* (١٩٩٠م).

وسواء كان برنامج نظام المعلومات الجغرافيّة الخاص بك يستعمل واجهة مستخدم تفاعليّة (GUI)، أو أنه يعمل حسب أوامر برمجية صارمة، فإن العمليّة تبقى أساساً هي نفسها؛ ذلك أن كل من الأوامر وبنية أو تركيب اللغة مُتضمَّنة في الواجهة التفاعليّة. ويتكون الشكل الأساس لمراقبة سير العمليات من مرحلتين متميزتين، لكنهما عنصران مرتبطان – جمل الإسناد التصريحية والبرامج – بحيث يعملان مع العمليات والوظائف التي رأيناها مسبقاً. وهذان العنصران هما مرتبطان في لغة هجينة تحاكي العناصر وتركيب كل من الجبر والإنجليزية. يوجد، أيضاً، بعض النسخ غير الإنجليزية لهذه اللغة الخاصة بالتحكم بسير العمليات.

جمل الإسناد: إن جمل الإسناد التصريحية (Statements) هي تمثيل لغوي للعمليات. إذ توفر جملة الإسناد هيكلاً إعلانياً أو تصريحياً للأوامر، حيث يربط بين المعامِلات، والوظائف، وأوامر البرمجة في تطور منطقي. فمثل معظم لغات الحاسب التصريحية (Declarative)، فإن ترتيب العمليات يعد أمراً حيوياً لسلامة أداء النموذج. والواقع أن بعض نظم المعلومات الجغرافيّة تستخدم مجموعة من إجراءات التحكم بسير العمليات تشبه تلك اللغات مثل فورتران (FORTRAN) أو نسخ من سي (C) أو بيسك (BASIC). سوف أصف الشكل النمطي (لسهولة استعماله) للغة التي تشبه كثيراً الجملة الانجليزية التصريحية. ونظراً إلى مرونتها، بوصفها تركيبا مشابه للغة الطبيعية (المألوفة)، فإن هذه المنهجيّة للتحكم بسير العمليات يمكن أن تمتد لإيجاد خوارزميات بلغات أوامر في نظم المعلومات الجغرافيّة ذات مستوى أعلى. وتشمل جمل الإسناد التصريحية المستخدمة في منهجيّة التحكم بسير العمليات تسلسلاً مُرتباً من الحروف والأرقام والرموز (لتمثيل المعامِلات)، والمساحات الفارغة. وكما هو الحال مع جملة اللغة الطبيعية التصريحية، فالتسلسل يشكل تصريحاً إعلانياً يشير إلى الموضوعات (Subjects) قيد النظر، ومعدِّلات (مقيدات) المواضيع، والأهداف التي ستعمل المواضيع عليها. انظر في الجملة التصريحية التالية:

TotalCostMap = LocalSum of FirstCost and SecondCost and ThirdCost

(خريطة كامل التكلفة = المجموع المحلي للتكلفة الأولى والتكلفة الثانية والتكلفة الثالثة)

يبدأ هذا التصريح بالموضوع هذا هو اسم الخرائط المُخرجة في معظم نظم المعلومات الجغرافيّة الحديثة – وفي هذه الحالة، فإن الموضوع هو: TotalCostMap؛ فهو الخريطة الموضوعيّة، أو أي مُخرج آخر سينتج من تنفيذ العمليات على الجزء الأيمن لعلامة التساوي (في النص الإنجليزي). تمتلك الجمل التصريحية، أيضاً، القدرة على تقبل المعدِّلات التي تقابل حروف الجر، والصفات، والظروف، والأسماء، وحروف العطف، وحتى علامات الترقيم التي تضيف أهمية، أو تغيّر معنى الجملة. فتعد علامة التساوي في التصريح أعلاه مُقيِّداً؛ لأنها تؤدي وظيفة الفعل على الموضوع. وتشمل المُقيِّدات الأخرى حرف الجر "لـ" وحرف العطف "و". تعطي هذه الحروف الجملة التصريحية المعنى المطلوب، وتعزّزه، وتربط بين المصطلحات الأخرى فيها تماماً كما لو كانوا في جملة طبيعية.

تـوفر الأهـداف الأخـرى علـى يمـين الجملـة التـصريحية (LocalSum ، و FirstCost ، و SecondCost ، وThirdCost) العناصر ، والأعمال (Actions) على تلك العناصر التي تنتج مع بعضها المُخرج (الموضوع). وفي هذه الحالة ، يعد مصطلح LocalSum وظيفة (وظيفة محلية ، في الحقيقة) ، وتعمل على كل خلية في شبكة التكلفة ولكل مصفوفة من المصفوفات المنفصلة الثلاث وذلك من خلال جمع هذه الخلايا بعضها مع بعض. يمكن أن تكون الأهداف في معظم البرامج الخلويّة المبنيّة على أسس الجبر الخرائطي أسماء الخرائط نفسها (كما في الحالة المذكورة أعلاه) ، أو أسماء ، أو ظروف ، أو أرقام. كما يمكن ، أيضا ، أن تُستعمل الرموز الخاصة (Special codes) التي تمثّل القيم الخاصة ، مثل مجموعة النفي (0-) ، وأعلى قيمة (++) ، وأدنى قيمة (- -). كما يمكن أن تُستخدم للإشارة إلى الجزء المفقود من سلسلة عددية ، مثل (١ ، ٢ ، ... ٨ ، ٩ ، ١٠) ، التي تشير إلى أن سلسلة القيم (٣ ، ٤ ، ٥ ، ٦ ، ٧) هي جزء من السلسلة الحسابيّة. وفي بعض الحالات ، تكون القيم الفعليّة لهذه الأجزاء في تصريح جبري خرائطي إما غير معروفة ، وإما أنها ستُقيَّم ومن ثم تُنشئ خلال التقييم. تُسمى هذه الأجزاء بالمتغيرات (Variables) ، وتشبه المتغيرات في لغة البرمجة التقليديّة ، وتُوضح هذه المتغيرات في التطبيق التقليدي للجبر الخرائطي بحروف كبيرة. وعليه ، يمكن أن يبدو التصريح مثل هذا :

NewMap = LocalSum of FIRSTMAP and SECONDMAP and THIRDMAP and FOURTHMAP

(الخريطة الجديدة = المجموع المحلي للتكلفة الأولى والتكلفة الثانية والتكلفة الثالثة والتكلفة الرابعة)

وبهذا الشكل فإن الأهداف FIRSTMAP ، و SECONDMAP ، و THIRDMAP ، و FOURTHMAP توحي بطبيعة القيم التي سوف تحل محل المتغيرات العامة أثناء التقييم. هذا التصريح المعمم يسمح بتطوير وتنفيذ خوارزميات مرنة بغض النظر عما ستكون عليه القيم الفعليّة. ولإضافة المزيد من المرونة للبيئة البرمجية ، فإن الجبر الخرائطي يسمح ، أيضاً ، بإدراج أجزاء اختيارية للتصريح. وقد يكون هذا مطلوباً إذا عرفنا - كما في التصريح السابق - إن وجود ما لا يقل عن خريطتين يعد أمراً ضرورياً في عمليّة LocalSum ، بينما تكون بقية الخرائط اختيارية ولا تحتاج إلى تقييم إلا إذا كانت موجودة فقط. يستخدم التصريح المُقيَّد ، عادةً ، الأقواس لتحديد أيّ من الأجزاء يكون اختيارياً. لذلك يمكن إعادة كتابة التصريح السابق ليبدو كالتالي :

NewMap = LocalSum of FIRSTMAP and SECONDMAP [and THIRDMAP and FOURTHMAP]

إن فحوى جلمة الإسناد التصريحية أعلاه يشير إلى أن هناك أربع خرائط محتملة تحتاج إلى تقييم ، بيد أن المطلوب منها فقط هما الخريطتان الأوليان. لكن ، ماذا لو أنك لا تعلم بالضبط عدد الخرائط التي ستدرج في عمليّة LocalSum؟ لحسن الحظ ، فإن الجبر الخرائطي لا يزال يسمح بهذا وبمرونة أكثر من خلال إضافة عبارة "الخ" (.etc) ،

التي تدل على أن أجزاء التصريح المُتضمنة داخل الأقواس يمكن أن تستمر. وبدلاً من إدراج المتغيرات THIRDMAP و FOURTHMAP بشكل واضح في الأقواس، فإننا نستخدم متغير أكثر عمومية مثل NEXTMAP. وعليه، يمكن أن تُعاد كتابة التصريح، الآن، هكذا:

NewMap = LocalSum of FIRSTMAP and SECONDMAP [and NEXTMAP] etc.

هذا يدل على أنه يمكن إدراج أيّ عدد من الخرائط بعد أول اثنتين منها في الحسابات، بالإضافة إلى إلزامية الأوليين. وكما لاحظت من التصريحات أعلاه، فلقد استمرينا في استخدام مصطلح LocalSum. ومن مناقشتنا الأولية للوظائف، يجب أن تدرك بأن هذا يمثّل عضواً في مجموعة الوظائف التي أطلقنا عليها وظائف محلية (الوظائف التي تتعامل مع الخلية الواحدة). إن أي وظيفة، بغض النظر عن أي مجموعة تنتمي لها، يمكن إدراجها في تصريحاتنا لاستحداث إجراءات من شأنها أن تقيّم خرائطنا الشبكية. ستتطرق في الفصل التالي بشكل موسّع إلى الخيارات الوظيفيه المتاحة في حزم نظم المعلومات الجغرافيّة القائمة على الجبر الخرائطي. ولكن، قبل ذلك، نحتاج أن نفحص باختصار البرامج، والمُعاودَة (التكرار).

البرامج: يُسمى التمثيل الكتابي الترميزي لطريقة إجرائية في الجبر الخرائطي بالبرنامج. وبالرغم من أن هذا يبدو وكأنه الشيء نفسه للتصريح – إلا أنه غير ذلك. فالبرنامج، بالأحرى، عبارة عن تسلسل مرتَّب للتصريحات، حيث يُوضع كل تصريح على سطر مستقل وتهدف جماعيةً إلى أداء مجموعة واسعة من الأنشطة أو المهام المترابطة. عليك أن تلاحظ أني استخدم مصطلح "تسلسل مرتَّب"، وهذا يدل – كما في أي لغة برمجة – على أن الترتيب الذي سوف تظهر فيه التصريحات يشير، في معظم الأحيان، إلى الترتيب الذي ستتم فيه المعالجة. إن البرنامج هو تحديد كتابي ترميزي لنموذج نظام المعلومات الجغرافيّة، فيبيّن أي الخرائط التي ستدرج، وما هي المعاملات التي ستُطبق تحديدا لكل خلية أو مجموعة خلايا شبكية، وما هي الخرائط الوسيطة (البينيّة) التي ستُنتج، وكيف تُعالج بعد ذلك. عليك أن تلاحظ، أيضاً، أني ذكرت أن ترتيب التصريحات يشير غالباً إلى ترتيب عمليّة المعالجة. قد يعني هذا أن البرنامج خطي تماماً، وأن كل خطوة نابعة مباشرة من الخطوة السابقة التي نُفذت من قبل، وهذا من شأنه أن يحصر براجنا في أداء مهام بسيطة جدا. إننا بحاجة إلى إضافة سمة واحدة للغة جبرنا الخرائطي لتوفر لنا المزيد من المرونة للنمذجة في الحالات المعقدة.

المعاودَة

إن الجبر الخرائطي، لحسن الحظ، لغة متينة تسمح لمنمذج أو مبرمج نظم المعلومات الجغرافيّة تنويع الترتيب الذي تظهر فيه التصريحات. هناك خطوات يمكن تجاوزها في ظل ظروف محدّدة، فإذا نتج، على سبيل المثال، من

تقييم تصريح معطى قيماً لا تحقق عتبة حدية (عليا) معينة لنموذجنا (مثل، القيمة النهائيّة الإجمالية لانجراف التربة الناتجة من عملية تقييم للمواقع السكنية)، فقد نتمكن من التخلص من الإجراءات التي بالمقابل يمكن أن تُستخدم لإضافة موارد مالية لجعل التنمية قابلة للاستثمار اقتصادياً. وقد نحتاج، أيضاً، إلى إدراج بعض العمليات في ظل ظروف معينة. في الحقيقة، يمكننا إعادة كتابة برنامجنا الخاص بتطوير المواقع السكنية على النحو الذي نفترض، في الغالب، أنه لن تظهر هناك حاجة إلى مُدخلات مالية إضافية، وإذا تجاوزت التعرية حداً معيناً، فيمكننا - عندئذ - أن نطلب من البرنامج أن يشمل التصريحات والإجراءات اللازمة لتنفيذ الموارد المالية الإضافية، وهذا عكس الحالة الأولى تماماً. إن هاتين الحالتين هما أقرب إلى التصريح البرمجي الشرطي من نوع "إذا كان ذلك فآخر" (if-then-else) المتاح تقريبا في جميع لغات البرمجة الحديثة.

ستكون هناك، أيضاً، حالات مألوفة تتطلب تكراراً لبعض الإجراءات والتصريحات للوصول إلى النتيجة النهائيّة. هذا هو الحال غالباً عندما تتطلب الإجراءات الإحصائيّة أو العددية خطوات أو مراحل متعددة لتقييمها النهائي. قد يكون المثال التقليدي، في حالة الجبر الخرائطي، نموذجاً فيه العديد من الخطوات التي يتعيّن معالجتها، حيث إن كل خطوة متعاقبة يجب تنفيذها، يلي ذلك تخزين للخريطة الوسيطة المنتجة ثم تُسترجع - بعد ذلك - للخطوة القادمة. إن الطريقة التقليديّة في لغة الحاسوب هي أن يكون هناك تركيباً لعمل حلقة التكرار (do loop) والذي يقضي بأن تستمر العمليات حتى الوصول إلى نقطة وقوف محدّدة مسبقاً، أو حتى استنفاذ مجموعة البيانات.

أخيراً، ينبغي عليك أن تنظر إلى الجبر الخرائطي على أنها لغة مكانيّة متكاملة ذات مستوى عالٍ؛ إذ تشمل عناصر أساسية (المعامِلات)، وعناصر أكثر تعقيداً (الوظائف)، وهيكلاً أو تركيباً رسمياً (تصريحات)، ومع كل ما يلزم من السمات التي تسمح ببرمجة النماذج المعقدة المطلوب تطويرها وتنفيذها. ولكي تبرع في النمذجة الخلويّة في نظام المعلومات الجغرافيّة، لا بد أن تكون ملماً بتركيب الجبر الخرائطي الذي يستخدمه البرنامج الخاص بك، وبقواعد تشغيله، وبمكونات كل نسخة (براجية) منه، وبطريقة تنفيذه أو التعديل عليه. سنتطرق في الفصل التالي لبعض الوظائف الأكثر قوة المتاحة داخل لغة الجبر الخرائطي. لا تنس مقارنة هذه مع تلك المتاحة في برنامجك قبل أن تبدأ في النمذجة. وستفضي المعرفة الدقيقة للقدرات النمذجية لبرنامجك إلى تحسين الكفاءة العملية، وإثارة أفكار كثيرة، واقتراح قدرات لم تُنفذ بعد، ومن ثم تأخذك إلى أبعد من عمود وظائف نظام المعلومات الجغرافيّة؛ إلى المجال المثير والمربح في تطوير التطبيقات.

مراجعة الفصل

يمكن تصور وتمثيل النقطة، والخط، والمساحة، وبيانات صفات السطح الإحصائيّة حسب مقاييس البيانات الجغرفية الاسميّة أو الترتيبية أو الفاصلية أو النسبية. وتوفر طرائق القياس هذه فرصاً وقيوداً لكيفيّة تخزينها سواء

داخل النماذج الخلويّة البسيطة أو المُوسَّعة. كما تساهم كل من الأبعاد المكانيّة، ومستويات القياس المُستخدمة، واحتمال التداخل بين مواقع الأهداف في تحديد الطريقة الأكثر ملاءمة من طرائق الإدخال الخلويّة الخمس (أربع منظّمة وواحدة غير منظّمة). أما البيانات السطحية الإحصائيّة فعموماً لا تملك قيم صفات إضافية مرتبطة بها، كما أنها، أيضاً، أشهر البيانات تمثيلاً بالقيم الكسرية بدلاً من الأعداد الكاملة.

يماثل التقسيم الخلوي شكل المصفوفة التي لا تختلف عن تلك التي قد يجدها المرء في جبر المصفوفات. وفي إطار هذا التركيب، فقد اعتمدت أحدث نظم المعلومات الجغرافيّة الخلويّة لغة نمذجة في شكل آخر من أشكال الجبر الخرائطي. ويعد الجبر الخرائطي نسخة قياسية (منهجيّة) ومبسطة لجبر المصفوفات الذي يحتفظ بالدقة الموقعية لكل خلية داخل المصفوفة. كما يتجاوز الجبر الخرائطي الإجراءات الرياضيّة ليشمل، أيضاً، مجموعة واسعة من الإجراءات العلائقية، والمنطقيّة، والاندماجية، والتراكمية، وإجراءات التخصيص. وتُسمى هذه كلها بالمعامِلات، والتي يمكن دمجها مع إجراءات ذات مستويات عليا تُسمى الوظائف، ضمن تركيب مماثل للغة الطبيعية يُطلق عليه التصريحات (جمل الإسناد التصريحية)، وذلك للسماح بتحكم براجمي لبناء برامج تُستخدم لتطوير نموذج نظام معلومات جغرافيّة ونشره. ويسمح الجبر الخرائطي، أيضاً، بالتحكم في سير العمليات من خلال خطوات تسلسلية مرتّبة لتصريحات الجبر الخرائطي؛ تُسمى برامج. يفرض هذا التسلسل المرتّب إطارا يتم على أساسه اختيار الخرائط والعمل عليها حسب أيّ ترتيب من أجل تحقيق نتائج النموذج المرجوة. كما يشمل هذا، أيضاً، مرونة برمجية إضافية عن طريق استخدام التصريحات التي تسمح بتجاوز بعض الإجراءات، أو تضمينها، أو تكرارها متى ما كان ذلك ضرورياً. كما توفر هذه المرونة الجبر الخرائطي نفس القوة والمرونة المرتطبة، في أغلب الأحيان، بلغات البرمجة الحاسوبية النموذجية.

مواضيع المناقشة

١- ما آثار الأبعاد المكانيّة للأهداف على اختيار خطة الترميز الخلوي المناسب؟

٢- ما هو الترميز الخلوي غير المُنَظم، وما أنواع المعايير التي يمكن أن تستخدمها في اختيار وتنفيذ هذا الترميز؟

٣- ناقش، باستخدام مجموعة من المواضيع الخرائطيّة، سواء كانت حقيقية أو مفترضة، أيّ المواضيع التي يمكن أن تكون ملاءمة للاستخدام في النموذج الخلوي الموسّع، وقدِّم بعض الأمثلة الملموسة على ذلك.

٤- كيف تؤثر طريقة الترميز الخلوي المختارة على الصحة المكانيّة للكيانات (الأهداف) النقطية والخطّية والمساحية؟

٥- ناقش الأثر الذي تحدثه الأهداف النقطية، والخطّية، والمساحية إذا ظهرت داخل المنطقة التي تحتلها خلية شبكية واحدة. وصِف بعض الحالات التي يحتمل أن يحدث فيها مثل هذا، واشرح بعض الحلول لهذه المشكلة.

٦- كيف تختلف الرياضيات في كل من الجبر الخرائطي وجبر المصفوفات؟ لماذا الرياضيات في الجبر الخرائطي مختلفة؟ ألم يكن بإمكاننا فقط أن نضيف بعضاً من تركيب الجبر الخرائطي إلى رياضيات جبر المصفوفات؟

٧- قدِّم قائمةً ووصفاً بسيطاً في جملة واحدة لكل من أنواع الوظائف الأساسية.

٨- صِف بعض الأنواع المختلفة من المعامِلات والوظائف، وقدِّم أمثلة عن كيفيّة عملها ضمن تركيب جملة الإسناد التصريحية في الجبر الخرائطي.

٩- قدِّم أمثلةً على التصريحات التي توضح الجوانب المختلفة للتحكم بسير العمليات. ثم اجعل تصريحاتك تشمل المتغيرات، والأهداف، والمقيدات، وأجزاء التصريح الأخرى. وعند الانتهاء من ذلك، علِّم أجزاء التصريحات، مثلما توضِّح جملة في درس لغة إنجليزية برسوم تخطيطية.

أنشطة تعليمية

١- تعلمنا في هذا الفصل خمس طرائق مختلفة لترميز البيانات الخلويّة. أنشئ نظاماً للترميز يشير كل رمز فيه إلى واحدة من هذه الطرائق. على سبيل المثال، يمكن أن يرمز PA إلى وجود أو غياب (الظاهرة)، و DT إلى النوع السائد، ... إلخ. الآن، أنشئ جدولاً يبيّن أبعاد الكيانات الجغرافيّة على المحور الرأسي وأساليب الترميز على المحور الأفقي. ضع في كل خلية علامة (X) لطريقة الترميز التي يمكن استخدامها لكل بعد من أبعاد البيانات المختلفة.

٢- قدِّم خمسة أمثلة على كيفيّة استخدام طريقة النوع الأكثر أهمية في ترميز الخلية الشبكية للبيانات الخلويّة. بيِّن بشكل دقيق كيف صنعت قراراتك - على أيِّ أساس حدّدت النوع الأكثر أهمية.

٣- أنشئ أو انسخ أمثلةً حقيقية من الواقع من قواعد بيانات متوفرة لنظم المعلومات الجغرافيّة لتضعها في جداول قواعد بيانات موسَّعة، وذلك لأنواع البيانات التالية:

أ) مثال على استخدام الأرض (مضلعات).

ب) مثال على بنية تحتية خطِّيّة (خطوط الكهرباء، وشبكات الشوارع، والطرق السريعة، ... إلخ).

ج) أمثلة نقطية (الحياة البرية، والمخازن، والآبار وغيرها).

٤- استعن بنسخة من كتاب في الجبر الخطي (جبر المصفوفات) وبيِّن من خلال أمثلة على ضرب المصفوفات، وقسمتها، والجذر التربيعي لها، وتربيعها. استخدم أعدادا حقيقية لحل هذه العمليات. الآن، قدِّم أمثلة توضيحة لنفس العمليات لكن باستخدام الجبر الخرائطي. ومرة أخرى، استخدم أعدادا حقيقية لحل هذه العمليات بالجبر الخرائطي. صِف النتائج وذلك لتوضيح الفروق بين الاثنين.

٥- بناءً على المواد التمهيدية التي قُدمت لك في هذا الفصل، قدِّم أمثلةً بسيطةً على جمل الإسناد التصريحية بالجبر الخرائطي تشتمل على المعامِلات والوظائف لاشتقاق الخرائط المُخرجة التالية. يُقصد من عناوين هذه الخرائط المُخرجة أن تكون وصفاً للمنهجيّة التي تريد أن تتبعها، لكن تذكّر أن هذه الاسماء ما هي إلا اسماء وصفيّة. قد تختلف نتائجك تبعاً لكيفيّة تفسيرك لمعنى الخريطة المُخرجة:

a. BiggestMap = خريطة الأكبر

b. SmallestMap =خريطة الأصغر

c. AverageMap =خريطة المتوسط

d. DifferenceMap =خريطة الفرق

e. TimeChangeMap =خريطة التغير الزمني

٦- انتج برنامجاً بسيطاً للجبر الخرائطي افتراضياً (خوارزمية، لأنك لا تستخدم بيانات حقيقية بعد) بحيث يضم ثلاثة تصريحات على الأقل من تلك التصريحات التي قدمتها في السؤال الخامس أعلاه، وأيّ تصريحات أخرى ترغب في استخدامها. صف ماذا يفعله البرنامج وماذا يريد مُخرَجه أن يبيّن. وكتحدياً إضافياً، حاول إضافة تصريح واحد على الأقل من تصريحات التحكم بسير العمليات الذي يتيح التكرار أو التقييد، وليشمل ذلك، أيضاً، استخدام متغير.



الفصل الرابع

توصيف العمليات الوظيفيّة
CHARACTERIZING THE FUNCTIONAL OPERATIONS

أهداف تعليميّة

يُفترض أن يكون الطالب قادراً بعد إكمال هذا الفصل وتعزيز محتوياته بقراءات خارجية، وبالبحث وبالممارسة العمليّة على عمل ما يلي:

١ - تعريف وتقديم أمثلة بيانية للعمليات المحليّة بنظم المعلومات الجغرافيّة استناداً إلى معامِلات رياضيّة ومنطقيّة متنوعة، وأن يكون قادراً على تقييم هذه الأمثلة البسيطة.

٢ - استخدام المتوفر من برامج نظم المعلومات الجغرافيّة الخلويّة، وتنفيذ الأمثلة التي حليتها يدوياً كذلك.

٣- شرح ما تعنيه عبارة "النظر من عين الدودة" (worm's-eye view) عندما تُطبق على العمليات المحليّة.

٤- تعريف العمليات التركزيّة وتفسير الفرق بينها وبين العمليات المحليّة.

٥- تعريف، وتقديم أمثلة بالرسوم البيانية لحل وظائف تركزيّة يدوياً وباستخدام برنامجك الخاص بنظام المعلومات الجغرافيّة لحل هذه الأمثلة نفسها.

٦- تعريف، وتقديم أمثلة بالرسوم البيانية لحل وظائف كتليّة ونطاقيّة وتركزيّة يدوياً، وباستخدام برنامجك الخاص بنظم المعلومات الجغرافيّة الخلويّة.

٧- تنفيذ وظائف تخصصية هندسية متعددة المتغير وهيدرولوجية وتقييم السطوح يدوياً باستخدام عينة من مجموعات البيانات وباستخدام برنامج لنظام المعلومات الجغرافيّة الخلويّة.

٨- وضع معامِلات ووظائف داخل جمل الإسناد التصريحية للجبر الخرائطي لإنشاء خوارزميات معقدة وتنفيذ الخوارزميات باستخدام برنامج نظام المعلومات الجغرافيّة الخلويّة الخاص بك.

٩- فحص نماذج منفذّة (نفذتها أنت أو الآخرين) وتفكيكها إلى الأجزاء التي كُوّنت منها هذه النماذج.

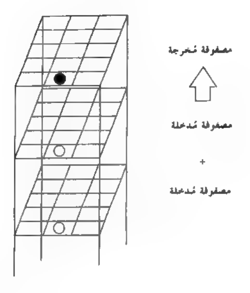
استعراض الوظيفة

لعلك تتذكر، أن الوظائف (Functions) تعد عمليات ذات رتبة عليا أكثر من عناصرها الأولية التي عرّفناها من قبل على أنها معامِلات (Operators)، لكنها أقل تعقيداً سواء في جملها التصريحية أو في برامجها. وقد رأينا أن الوظائف تأتي في مجموعة متنوعة من الفئات، وكل منها يعمل في مجموعة فريدة من الطرائق. وتُعد الوظائف أهم المفاهيم الفردية التي تحتاج إلى أن تكون فعّالة مما يؤهل نظام المعلومات الجغرافيّة لأن يكون نظاماً مُنمذِجاً. ورغم أن التصريحات – أو جمل الإسناد البرمجية – والبرامج تؤثر، في الغالب، على ضبط النموذج – إلا أن الوظائف تحدّد ما يستطيع نظام المعلومات الجغرافيّة الخلويّة القيام به داخل التركيبات التي تفرضها التصريحات والبرامج. كما أن كل حزمة من حزم برامج نظم المعلومات الجغرافيّة الخلويّة تختلف، وتحتوي على وظائف فريدة ومتساوية في العدد والطابع. ستوفر المناقشه التالية إطاراً للفهم واعطاء فكرة عامة للقدرات الوظيفيّة التي قد تتوقع توفرها ضمن حزمة متقدمة من نظم المعلومات الجغرافيّة الخلويّة التي تنفذ شكلاً ما من أشكال الجبر الخرائطي.

الوظائف المحليّة

تعمل الوظائف المحليّة على مستوى محلي جداً (على أساس الخلية). ونعني بالمستوى المحلي أن التركيز يكون على كل خلية شبكية، أيا كانت درجة الوضوح المكاني التي اخترتها لترميزها. وبهذه الطريقة، فإذا كانت خليتك الشبكية (١٠٠) متراً على الجانب، فإن الوظيفة المحليّة تعمل على حيز مكاني قدره (١٠٠ x ١٠٠) متر. من ناحية أخرى، إذا كان لديك خلايا شبكية ذات درجة وضوح (١٠٠٠٠) متر على الجانب، فإن حجم المنطقة المحليّة المعمول عليها سيكون (١٠٠٠٠ x ١٠٠٠٠) متراً. ومثل ما قد تتوقع، يعتمد أثر حسابات الوظائف المحليّة بشكل كبير تقريباً على درجة الوضوح هذه. وأيّا كانت درجة وضوحك المكاني، يمكن النظر إلى الوظيفة المحليّة على أنها تعطيك ما سمّاه توملن "بالنظر من عين دودة أرضية (ضيقة)" (worm's-eye view). ما يعنيه هذا، هو أنه إذا كنت على مستوى الأرض، مثل أي دودة كانت، فإن نظرتك للعالم ستكون مقصورة على مسافة قصيرة جداً من موقعك المطلق، أو أن نظرتك لموضوع نظام المعلومات الجغرافيّة الخلويّة – حسب وجهة نظرنا هنا – مقتصرة على خليتك الشبكية المباشرة.

معظم نماذج نظم المعلومات الجغرافيّة ليست مقصورة على طبقة أو موضوع واحد، ولذلك فإن علينا أن نوسع فكرتنا للنظرة من عين دودة بحيث تتشارك (تتطابق) الخلايا الشبكية رأسياً. وهكذا، فإن دودتنا تكون قادرة على البحث في البيانات مباشرة نحو الأعلى والأدنى من موقعها المحدّد. تبدأ الوظائف المحليّة – عندئذ – العمل عند مواقع الخلايا الشبكية المحليّة على موضوع واحد ويتم معالجتها إما بمعامِلات منفردة، وإما بمطابقة الخلايا الشبكية مع مواضيع أخرى (الشكل رقم ٤،١). لاحظ من الشكل رقم (٤،١) أنك تبدأ بكل خلية مستهدفة على حدة وتعالجها من خلال المعامِلات المتوفرة للحصول على إجابة خاصة بموقع تلك الخلية نفسه.



الشكل رقم (٤,١). الوظيفة المحليّة. الوظائف المحليّة هي وظائف تقوم على خلية تلو الأخرى والتي تقارن كل خلية من مصفوفة واحدة مع الخلية المناظرة لها في المصفوفة الثانية وجميع المصفوفات المتعاقبة.

بالرغم من أن الوظائف المحليّة تبدو بسيطة – إلا أنها ذات إمكانات متينة وتطبيق شائع جداً للمهام النمذجية. وتعد، في الحقيقة، من بين أكثر الوظائف شيوعاً المطبقة في النمذجة بنظم المعلومات الجغرافيّة الخلويّة. دعونا نلقي نظرة على بعض الخيارات المتاحة للتحليل بالوظائف المحليّة. تذكّر أن كل من معامِلات الجبر الخرائطي يمكن تطبيقها في ظل ظروف محدّدة، لذا سنبحث في الوظائف المحليّة من خلال المعامِلات التي قد تستخدمها ونبيّن نتائجها.

يمكن ضم المعامِلات الممكنة الأكثر تطبيقاً للوظائف المحليّة في ست فئات:

١- حسابية مُثلّثيّة

- جيب الزاوية (sin)، جيب تمام الزاوية (cos)، ...

٢- أسيّة ولوغاريثمية

- أسّيّ: exp، exp^{10}، ...
- لوغاريثمي: log، log^{10}، ...
- قوة: الجذر التربيعي (sqrt)، pow، ...

٣ – إعادة تصنيف

- إعادة تصنيف: reclass (إعادة ترقيم)، ...

٤ - اختيار

- الاختيار : اختر select ، اختر دائرة selectcircle ، ...
- الشرط : شرط con ، اختبر test ، التقط pick ، ...

٥ - إحصائية

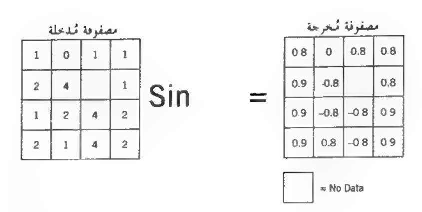
- إحصائية : الأقل (min) ، المتوسط (mean) ، الأغلبيّة (majority) ، ...

٦ - أخرى

- حسابية : إرجاع القيمة المطلقة abc ، إرجاع العدد الصحيح الأعلى ceil ، إرجاع قيمة كسرية عشوائة rand ، ...

قد يكون من الصعب أن نتصور في البداية المجال الذي تُستخدم لأجله أيّ وظيفة من الوظائف المحليّة العديدة. فقد تسأل نفسك : ما الذي يمكن أن أحققه من استخدام وظائف القوة (power) ، وجيوب تمام الزاوية (cosines) ، واللوغاريثمات ، وهلمّ جرّاً ، للنمذجة؟ إن استخدام هذه الوظائف منفردة قد لا يكون مفيداً عملياً ، لكن إذا تذكرت أن النموذج الذي يتكون من وظيفة محلية واحدة ليس فقط أمراً مستبعداً بل إنه نادراً ما يكون مفيداً جداً ، فإنك تتوقع - عندئذ - أن هذه الوظائف ما هي إلا عناصر لنماذج أكبر، في الغالب. ويمكن أن تأخذ هذه النماذج شكل معادلة انحدار ، على سبيل المثال ، وفي هذه الحالة ، تُستخدم وظيفة القوة بحيث تصبح محتويات كل خلية شبكية جزءاً من تلك المعادلة. هذا سوف يسمح لك بتنفيذ الانحدار على سلسلة من المواضيع في وقت واحد. ستكون بعض المواضيع مؤلفة من ثوابت ، وبعضها من قيم محسوبة ، وأخرى من المتغيرات التي ستتغير قيمها بالمُدخلات الأخرى. ستبيّن لك المناقشة التالية تركيب هذه الوظائف ومنهجيّتها ، لكنها لن توفر جميع الحالات الممكنة التي تكون فيها كل وظيفة جزءاً مكملاً لنموذج أكبر. وهذا قد يتطلب عدداً لا حصر له تقريباً من الحالات المحتملة. سوف أترك الأمر لك لتتصور كيف يمكن استخدام هذه الوظائف وغيرها. وفي وقت لاحق من الكتاب ، سأقدم بعض الأمثلة للنماذج التي قد تساعدك في عملك الخاص بك.

بعد أن صنّفنا الوظائف المحليّة في ست مجموعات ثم في فئاتها الأصغر ، نبدأ فحصنا للوظائف المحليّة الحسابيّة المُثلّثيّة (Trigonometric). تنفّذ هذه الوظائف حسابات مُثلّثية على خلايا الخرائط الخلويّة ، أو أرقام ، أو قيم عددية (نسبية) (Scalars). وعندما تُطبَّق على الخرائط الخلويّة ، فإنها يمكن أن تعمل على خلية شبكية واحدة ، أو على مجموعات من الخلايا ، أو على جميع الخلايا الشبكية للخريطة (الشكل رقم ٤،٢). ومثلما تتوقع ، فالناتج من هذه الوظائف سيكون قيماً كسرية. ولهذا السبب ، فإن نظم المعلومات الجغرافيّة الخلويّة التي لا تدعم رياضيات الكسور لها طريقتان في العمل مع الوظائف الحسابيّة المُثلّثيّة ؛ فإما أنها سوف تبتر القيم المُخرجة ، وإما أنها لن تنفّذ هذه الوظائف.



الشكل رقم (٤,٢). الوظيفة الحسابيّة المُثلثيّة. هنا، تم تطبيق جيب الزاوية (Sin) على كل خلية في الشبكة (المصفوفة المُدخلة).

إن الوظائف الأُسيّة واللوغاريثمية متماثلة تقريباً في العمليّة مع الوظائف الحسابيّة المُثلثيّة - غير أنها تنفّذ حسابات أُسيّة ولوغاريثمية، في حين تتطلب وظيفة القوة مُدخلا يصف قيمة القوة (مثل، تربيعي أو تكعيبي). ينبغي أن تشمل هذه الوظائف جميع القوى والجذور واللوغاريثمات (بما فيها اللوغاريثمات الطبيعية).

ولعل أكثر مجموعات الوظائف المحليّة استخداماً، مجموعة إعادة التصنيف. فهي تقدم مجموعة واسعة من الخيارات لأنها تحت تحكم المستخدم تماماً، إذ أن عمليات إعادة التصنيف تتيح للمستخدمين اختيار إما خلايا فردية، وإما مجموعات من الخلايا بحيث تعيد تصنيف فئاتها. سنبحث كيف تُستخدم وظيفة الاختيار بالاقتران مع وظيفة إعادة التصنيف لعمل ذلك. وإذا كنت قد اشتغلت على برمجيات نظم المعلومات الجغرافيّة الخطّيّة، تذكّر أنك قد تستخدم شكلاً من أشكال إعادة التصنيف وحذف خطوط وذلك لضم فئات اسمية فرعيّة مثل الإسكان، والتجارة والصناعة مع بعضها لتصبح فئة أكبر مثل منطقة عمرانية أو مبنيّة. وربما أنك أردت، أيضاً، أن تعيد تصنيف الفئات الاسميّة للغطاء الأرضي أو التربة بناءً على قدرتها أو توفرها النسبي في دعم استخدامات أرضية مختارة (الشكل رقم ٤,٣). وبهذه الطريقة، أنت تقوم بتحويل قيم الخلايا الشبكية من مستوى قياس البيانات الاسمي الأصلي إلى قياس ترتيبي رتبي. هذا يشير، أيضاً، إلى القدرة على استخدام وظيفة إعادة التصنيف لوزن كل خلية على حدة والشبكه بأكملها. يمكن أن تجري نفس العمليّة في بيئة خلوية من خلال إعادة تخصيص الخلايا في نموذج البيانات الخلويّة البسيط أو إنشاء قيم جديدة في جدول مُحدّث في نموذج نظم المعلومات الجغرافيّة الخلويّة الموسَّع.

إن المثال الثاني أعلاه لاستخدام وظيفة إعادة التصنيف يبيّن كيف أن لها القدرة على السماح بتغيير مستوى قياس البيانات الجغرافيّة لبعض أو جميع الشبكات (المواضيع) في قاعدة البيانات. وقد يبدو هذا في الظاهر عملاً آمناً نسبياً، لكن قد يكون له آثار بالغة على صحة النماذج المستمدة من تطبيق هذه الوظيفة. وقد تكون هذه الآثار إيجابية

أو سلبية، وذلك حسب الكيفيّة التي تغيرت على أساسها مستويات القياس وكيفيّة استخدام الشبكات أو القيم المُعايرة. فعلى سبيل المثال، إذا كنت ستحوِّل بيانات نوع التربة (بيانات اسمية أو فئوية) إلى أوزان لقدرات الأرض (Land capability) (فاصلية أو نسبية) بحيث يمكن مقارنتها رياضياً مع بيانات فاصلية أو نسبية؛ أي إعادة تصنيف أنواع استخدام الأراضي الموجودة إلى أوزان الأفضلية أو الملاءمة الأرضية (Land suitability)، فإن النتائج ستكون عديمة الفائدة. إن من الأخطاء المتكررة والخطرة جداً، استخدام الوظائف المحليّة لمقارنة بيانات خلوية اسمية مع بيانات ترتيبية أو فاصلية، أو نسبية. فمن الممكن، على سبيل المثال، في نظم المعلومات الجغرافيّة الخلويّة ضرب قيم خلايا الغطاء الأرضي (قيم رمزية تمثّل فئات) بقيم كمية ذات مستوى نسبي، مثل قيم الارتفاع، على سبيل المثال. قد تبدو النتيجة غالباً مقنعة بصرياً، لكن ليس للقيم أي معنى. وباختصار، فإن كثرة استخدام الوظائف المحليّة وقوتها يجب أن يشير إلى أنه من الضروري توخي الحذر الشديد عند تطبيقها.

أنواع التربة

1	0	1	1
2	4		1
1	3	4	2
2	3	4	2

إختر
Select >=2

مناطق الأفضلية

1	0	1	1
2	4		1
1	3	4	2
2	3	4	2

المصفوفات المُدخلة

1	0	1	1
2	4		1
1	3	4	2
2	3	4	2

أعد التصنيف
Reclass:
(Selection =1,
not =0)

المصفوفات المُخرجة

0	0	0	0
1	1		0
0	1	1	1
1	1	1	1

= No Data

الشكل رقم (٤،٣). وظيفة إعادة التصنيف المحليّة. يوضح هذا المثال كيف قورنت قيم نوع التربة (أعلى يسار) مع قيم مناطق الأفضلية (الملاءمة) من المصفوفة الثانية (أعلى يمين). هنا، يُقارن كل زوج من القيم من كلتا المصفوفتين، فإذا كانت القميتين أكبر من أو تساوي (٢)، فيتم – عندئذ – إرجاع قيمة (١). في حين تُعاد قيمة (٠) إذا لم يكن هذا هو الحال (الشرط)؛ أما فئة عدم وجود بيانات فترجع عندما تكون البيانات غير متاحة للمقارنة.

ولأجل أن تكون وظائف إعادة التصنيف فعالة تماما فإنه يجب أن يكون لها قدرة على عزل أكثر من خلية شبكية واحدة، وفي معظم الأحوال، مجموعة فرعيّة من الشبكة بأكملها. تسمح وظيفة الاختيار بعمليات التحديد، والعزل، والمعالجات اللاحقة باستخدام وظائف أخرى، وذلك لمجموعة فرعيّة من شبكة كاملة في الغالب. ويمكن أن يُنفّذ الاختيار على صفات الخلايا الشبكية، حيث يمكنك، على سبيل المثال، أن تعزل كل القيم المتماثلة (مثل، جميع القيم التي تساوي ٦)، أو جميع القيم التي يمكن أن تكون ضمن حد معين (مثل، كل القيم بين ٣ و ٦ [الشكل رقم ٤,٤])، أو كل القيم التي تتشارك في نفس التوصيف (مثل، كل خلايا الشبكة المصنفة "ذرة"). إن عمليّة البحث هذه المبنيّة على الصفات تجري إما على قيم الخلايا الشبكية نفسها في حالة استخدام نموذج البيانات الخلوي البسيط، وإما على البيانات المجدولة في نموذج البيانات الخلوي الموسَّع. وحسب طبيعة برنامجك، فاختيار الخلايا الشبكية من خلال الصفات قد يحتاج إلى تدخل بشري لتنفيذ الاختيارات أو قد يتضمن شكلاً من أشكال وظائف الاختيار التي تبحث تلقائياً في الخلايا الشبكية أو في جداول الصفات ثم تقارن ما تجده مع مجموعة من المعايير. وكلما كان النظام أكثر آليّة، كان تنفيذ النمذجة أسهل.

المصفوفة المدخلة

3	6	0	1
5	4		1
6	2	2	0
6	5	3	1

إختر القيم من 3 إلى 6
Select:
Values = 3:6

المصفوفة المخرجة

3	6	0	1
5	4		1
6	2	2	0
6	5	3	1

= No Data

الشكل رقم (٤,٤). إعادة تصنيف مجموعة فرعيّة بالوظيفة المحليّة. يظهر هذا المثال كيف أن كل القيم بين (٣) و(٦) تم اختيارها لإعادة التصنيف (المظللة)، في حين أن البقية لم تُقيَّم

ثمة نهج آخر للاختيار وهو اختيار خلايا الشبكة على أساس معلوماتها الموضعية الفردية أو الجماعية. فيمكنك، على سبيل المثال، اختيار كل خلايا أركان الشبكة، أو الخلية المركزية، أو أقصى عمود نحو الجهة اليسرى من أعمدة الشبكة الخلوية، أو الصف الأعلى لخلايا الشبكة، وهذه فقط أمثلة بسيطة تماماً. كما قد تشمل الأنواع الأخرى من وظائف الاختيار وظائف عزل الأشكال الهندسية الأخرى، مثل المربعات (الشكل رقم ٤,٥) والدوائر. ويتطلب اختيار تلك الأشكال الهندسية بأن تسمح وظائف الاختيار، أيضاً، بإدخال تقنيات أو طرائق لتحديد أين تقع الخلايا

الشبكية بالضبط في الحيز المكاني الهندسي. وتوفر عمليات البحث البراجمية عن طريق الرسوم البيانية بعض الأمثلة الإضافية على كيفيّة اختيار الظواهر (في هذه الحالة، الظواهر الخطّيّة). فقد تكون على دراية بهذه المصطلحات، مثل: مرتبط بـ (connected to)؛ وداخل ضمن (within)؛ وفي الداخل (inside)؛ وفي الخارج (outside)؛ وما شابهها. ويمكن استخدام نفس هذه الأنواع من التصريحات، أيضاً، لاختيار مجموعات من الخلايا من الشبكة. كما ينبغي، أيضاً، أن يكون هناك طريقة ما لربط الاختيارات التي تقوم على الصفة والتي تقوم على الموقع.

المصفوفة المدخلة

3	6	0	1
5	4	4	1
6	2	2	0
6	5	3	1

إختر المركز بأبعاد (2X2) خلية
Select: Center (2×2)

المصفوفة المُخرجة

3	6	0	1
5	4	4	1
6	2	2	0
6	5	3	1

الشكل رقم (٤,٥). الوظيفة المحليّة الموضعية لإعادة التصنيف. هذه طريقة أخرى للتحديد أي خلايا الشبكة المطلوب إعادة تصنيف لها وذلك من خلال تحديد موضع الخلايا التي سيجري فحصها. في هذه الحالة، يتم توجيه البرنامج إلى الذهاب إلى مركز المصفوفة واختيار مصفوفة بأبعاد ٢ × ٢ خلية. هناك العديد من الأساليب الأخرى للاختيار متاحة أيضاً

إن الوظائف الإحصائيّة المحليّة مصممة أساساً للمقارنة بين شبكتين مُدخلتين أو أكثر. فقد ترغب، على سبيل المثال، أن تُرجع القيمة الأدنى أو القيمة الأعلى، أو المتوسط، أو قيمة الأقليّة، أو قيمة الأكثريّة أو الأغلبيّة لكل موقع من مواقع الخلايا الشبكية. وأكثر من مجرد مقارنة شبكة واحدة مع أخرى، يمكنك، أيضاً، إجراء مقارنات مع الثوابت أو غيرها من القيم العددية. أما المُخرج من الوظائف المحليّة الإحصائيّة فعادةً ما يكون شبكة (الشكل رقم ٤,٦).

يأتي تحت المجموعة النهائيّة من الوظائف المحليّة "أخرى" نوعاً رئيسياً من الوظائف وهي الوظائف الحسابيّة، التي تقوم، إلى حد كبير، على معاملات حسابية. ومن بين أكثر هذه الوظائف المحليّة شيوعا تلك الوظائف التي تسمح بإعادة تخصيص القيم الكسرية للخلايا إلى أعداد صحيحة، أو العكس، وتلك التي تستخرج القيم المطلقة لقيم الخلايا العددية، وتلك التي تسمح بتخصيص أعداد عشوائية للخلايا الشبكية. لقد شهدنا بالفعل أهمية القدرة على معالجة قياسات البيانات الجغرافيّة، لأجل أن تتوافق مستويات القياس بين الشبكة الواحدة والأخرى. وينطبق الأمر نفسه على رياضيات الأعداد الصحيحة مقابل الكسرية، خاصةً في حالة استخدام قواعد البيانات الكبيرة في النمذجة؛ لأن رياضيات الأعداد الكسرية قد تبطئ النموذج كثيراً إلى الدرجة التي يكون عندها غير فعال. وبالإضافة إلى ذلك، فإن القدرة على تغيير أرقام سالبة إلى قيم مطلقة تعد مفيدة جداً إذا كانت شبكاتك تهدف إلى

إيضاح مقدار أو كمية معينة من الصفات وليس بالضرورة الاتجاه (Direction). وتعد عمليّة استخراج العدد العشوائي عمليّة أساسية لبعض عمليات النمذجة، لاسيما تلك التي تحاول أن تتنبأ بالأحداث المقبلة، كما في حالة استخدام نموذج مونت كارلو لمحاكاة النمو الحضري (Meaille and Wald, 1990)، وانتشار الحريق (Liu, 1998)، أو غيرها من عمليات الانتشار (Mattikalli, 1995; Miyamoto and Sasaki, 1997; Park, 1996; Portugali, et al., 1994).

المصفوفة المُدخلة

5	6	2	1
5	4		1
6	7	2	3
9	5	3	7

4	6	0	5
7	4		1
6	2	4	2
6	5	8	1

المصفوفة المُدخلة

المتوسط
Mean =

المصفوفة المُخرجة

4.5	6	1	3
6	4 ,		1
6	4 5	2	2 5
7 5	5	5 5	4

الشكل رقم (٤,٦) الوظيفة المحلية الإحصائيّة كثير من التقنيات الإحصائيّة تسمح بمقارنة مجموعات من الخلايا المسجلة مكانياً مع بعضها (Co-registered). هنا، تم تطبيق المتوسط الحسابي على مصفوفتين مُدخلتين

لعل من أهم العمليات المحليّة في هذه المجموعة هي تلك الوظيفة التي تسمح بتقييم الأوضاع أو الشروط في شبكة ما. وفي برنامج GRID ضمن حزمة برامج معهد بحوث النظم البيئيّة (ESRI) يوجد هذا التصريح الشرطي: CON بشكل واضح في مجموعة الوظائف. فهو شرط يستطيع أن يربط شبكات متعددة ويقارن الشروط لهذه الشبكات خلية بخلية. يمكن تطبيق أمر CON على شروط متعددة دفعة واحدة، لكن يجب أن يكون لكل تعبير أو قيمة القدرة على تخصيص (إسناد) قيم للخلايا الشبكية. أما نتائج تقييم الشروط فعادةً ما تكون تعبيراً حقيقياً، والذي يكون قيمة عددية محدّدة مسبقاً للشروط التي تحققت (الشكل رقم ٤,٧). ويمكن، أيضاً، إسناد تعبير زائف (غير صحيح) ضمن الوظيفة بحيث يمكن إسناد قيم مخرجة معينة للشرط إذا صُودف. وفي حالة GRID، إذا لم يتم

تخصيص قيمة للشرط الزائف (غير الصحيح)، فإن ذلك ينتج منه تخصيصاً بإسم "لا يوجد بيانات" (No-Data) لتلك الخلايا. هناك شيء واحد يجب أن نأخذه في الاعتبار مع الأمر: CON، وهو أنه يسمح بإنشاء شبكة مُخرجة واحدة فقط. يشتمل برنامج GRID على تصريح الشرط "إذا" (IF) في لغته الجبريّة الخرائطيّة والتي تسمح بتركيب تقييمات شرطية تستطيع أن تنتج مُخرجات شبكية عديدة. وكلاهما مفيدان جداً في حالة تطوير النماذج المعقدة التي تتطلب تقييماً للشروط. سوف نعود لكل من الوظيفة الشرطية وتصريح "إذا" فيما بعد في هذا الكتاب.

المصفوفة المُدخلة الأولى

4	6	2	5
7	4	7	1
2	5	4	2
6	5	8	1

شرط: المصفوفة الأولى أكبر من أو تساوي المصفوفة الثانية
(صحيح= 1، خطأ= 0)

Con:
Matrix 1 >= Matrix 2
(True = 1, False = 0)

المصفوفة المُخرجة

1	1	1	0
0	1	0	1
0	1	0	1
1	1	0	1

4	6	0	7
6	4	9	1
6	2	5	1
3	5	9	1

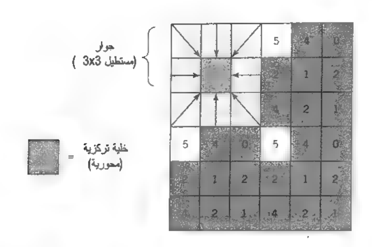
المصفوفة المُدخلة الثانية

الشكل رقم (٤,٧). الوظيفة المحليّة الشرطية. تتيح المقارنة بين مصفوفتين للمستخدم إجابات مرجّعة حقيقية (١) أو غير صحيحة (٠) كمؤشرات للشرط قيد المقارنة. في هذه الحالة، الشرط الذي يجري فحصه هو: هل المصفوفة المُدخلة الأولى أكبر من أو تساوي الثانية.

الوظائف التركزيّة

بخلاف الوظائف المحليّة، تتجاوز الوظائف التركزيّة (المحوريّة) النظر من عين الدودة لتقييم قيم خلايا الشبكة في مواضيع خرائطنا الخلويّة، مع العلم أنها تشترك مع الوظائف المحليّة في تقييم الخلايا الفردية في الشبكة. تحسب الوظائف التركزيّة الخريطة أو الشبكة المُخرجة من خلال تخصيص قيم الخلايا المُخرجة على أساس وظيفة ما للخلايا المُدخلة لجوار محدّد حول موقع معين أو خلية شبكية في الخلايا المُدخلة. وبعبارة أخرى، نحن نبدأ، الآن، من عند

خلية شبكية واحدة، وننظر في خلاياها المجاورة، ونحلّل مضمون تلك الجوارات لاشتقاق القيمة التي سوف نخصصها لخليتنا المُخرجة (الشكل رقم ٤,٨).



الشكل رقم (٤,٨) الوظيفة التركزيّة تفحص في الوظائف التركزيّة الخلية المستهدفة وخلاياها المجاورة وترجع قيمة مبنيّة على تقييم هذه الخلايا.

توفر الوظائف التركزيّة أو وظائف الجوار مجموعة واسعة من الجوارات الممكنة التي يبدأ منها التحليل. ومن بعض الأشكال النمطية لهذه الجوارات: المستطيلات؛ والدوائر؛ والحلقات الدائرية (Annuluses)؛ والقطع أو الفِلق الدائرية (Wedges). يمكن، أيضاً، اختيار هذه الأشكال حسب الحجم. فعلى سبيل المثال، يمكن أن يكون الجوار في شكل مضلع (مربع في الغالب) خلوي بحدود (٣ × ٣) خلايا، أو (٦ × ٣) خلايا، أو دائرة بنصف قطر طوله (٦) خلايا، أو فِلقة دائرية بنصف قطر (٩) خلايا، وهلمّ جرّاً. ويعتمد وضع مكان هذه الأشكال، إلى حد كبير، على الخلايا المستهدفة داخل الجوار المختار. ففي حالة الحلقة الدائرية، فإن الخلية المستهدفة توضع في وسط الحلقة، ولا تستند النتائج على صفات الخلية المستهدفة على الإطلاق؛ لأنها ليست جزءاً من الجوار (في وسط الحلقة) (الشكل رقم ٤,٩).

إن المهنيين في مجال الاستشعار عن بعد مألوفةٌ لديهم المرشّحات المنخفضة والعالية (Low-pass, High-pass filters). وهذه المرشحات أو الفلاتر ما هي إلا نوافذ متحركة (جوارات خلوية). فالمرشحات المتحركة تعتبر نوعاً من الوظيفة التركزيّة؛ ذلك أنه يتم أولا إنشاء نافذة ثم تُخصص قيمها المُخرجة، تخصيص واحد كل مرة، وهكذا حتى تمتليء كامل الشبكة المُخرجة. وكما هو الحال مع المرشّحات في حزم نظم الاستشعار عن بعد، فإن الوظائف التركزيّة المتحركة تسمح بإدخال قيما أو أوزاناً نواتية داخل الجوار. وعادة ما يتم تخزين الأوزان في شكل ملف مستقل ليُدرج في تصريح الوظيفة المحليّة. يمكن أن تكون الأوزان موحّدة، أو متماثلة، أو غير متماثلة – كما هو الحال في المرشّحات المتحركة. فقد ترغب، على سبيل المثال، أن تخصص أوزاناً أعلى للخلايا الشبكية القريبة من

الخلية المستهدفة، وأوزاناً أقل كلما ابتعدت كثيراً عن هذه الخلية. وبهذه الطريقة، يمكنك أن تحاكي وظيفة ترجيح (وزننة) المسافة لخلايا الشبكة لينتج عن ذلك أثراً وزنياً للمسافة في مُخرجك.

المصفوفة المُدخلة

4	6	2	5
7	4	7	1
2	5	4	2
6	5	8	1

جمع تركزي
(حلقة دائرية)
FOCALSUM
(grid, annulus)

المصفوفة المُخرجة

4	6	2	5
7	37	7	1
2	5	4	2
6	5	8	1

الشكل رقم (٤،٩) الجوار الدائري الحلقي. في هذا الجوار الحلقي (شكل الدونات) نقيّم الخلايا ضمن الحلقة لكن ليس الخلية المستهدفة نفسها.

هناك خيارات عديدة تتجاوز القدرة على تغيير حجم، وشكل، وأوزان الوظائف التركزيّة. وذلك في مجال معالجة محتويات الجوارات المختارة لتقييم الخلايا المستهدفة. وفي الواقع، إن معظم البرمجيات التي تستخدم لغة الجبر الخرائطي سوف تسمح لك بتعديل طريقة تجهيز خلايا الجوار ومعالجتها حتى تلائم احتياجاتك الخاصة. تشمل الأشكال العامة للوظيفة التركزيّة تلك الطرائق مثل: المجموع (Sum)؛ الأغلبيّة التركزيّة (Focal majority)؛ والحد الأدنى (Minimum)؛ والحد الأقصى (Maximum)؛ والمعدل أو المتوسط (Mean)؛ والوسيط (Median)؛ والمدى (Range)؛ والانحراف المعياري (Standard deviation)؛ والتنوع أو الاختلاف (Variety or Diversity)؛ والتدفق (Flow). دعنا نقوم بدراسة عدد قليل فقط منها بحيث تبدأ بفهم كيفيّة عملها.

تقيِّم الوظيفة التركزيّة جميع خلايا الشبكة في جوار شبكي مُدخل لتحديد أغلبية القيم المُتضمنة داخل الجوار لينتج ذلك قيمة للخلية المستهدفة المتشاركة في نفس المكان في المصفوفة المُخرجة. وعليه، فإذا اخترت جواراً مربعاً في حدود (٣ × ٣) خلايا مرتكزاً على الخلية المركزية في تلك المصفوفة، وكانت غالبية قيم الخلايا (٢)، فستكون النتيجة أن العدد (٢) سوف يوضع في الخلية المستهدفة للشبكة المُخرجة (الشكل رقم ٤،١٠ أ). كما يمكن أن نطبق في نفس الشبكة وظيفة الحد الأدنى التي من شأنها أن تنتج قيمة (١) لتُحال إلى الشبكة المُخرجة (الشكل رقم ٤،١٠ ب). أو أننا يمكن أن نأخذ متوسط القيم التسع (أي، focalmean) لإرجاع قيمة المتوسط إلى موقع الخلية في الشبكة المُخرجة (الشكل رقم ٤،١٠ ج). أما المثال النهائي فهو لتقييم التنوع أو الاختلاف في الفئات داخل الجوار، وفي هذه الحالة سوف تحدّد الوظيفة عدد أنواع القيم المختلفة في الشبكة الخلويّة ثم تُرجع الوظيفة تلك القيمة العددية للخلية المستهدفة في الشبكة المُخرجة. وكما ترى، هناك العديد من الطرائق التي يمكن استخدامها بهذه الوظائف لوصف قيم الخلايا الشبكية في كل جوار. فيمكن استخدام هذه الطرائق لتحديد، مثلاً، الحد الأدنى لتكاليف المنازل في

جوار معين، أو قيمة الأرض الكلية في الجوار، أو متوسط عدد الجرائم في جوار معين في سنة معينة. أو تنوع المظهر الطبيعي لأنواع الغطاء الأرضي في بقعة معينة (جوار معين).

مصفوفة مُدخلة

4	7	2	1	9
7	2	3	2	7
3	2	5	3	5
4	1	2	2	4
9	5	4	6	2

(أ)

الأغلبية التركزية

FOCALMAJORITY (Grid, Neighborhood, Rectangle, 3,3)

مصفوفة مُخرجة

4	7	2	1	9
7	2	3	2	7
3	2	2	3	5
4	1	2	2	4
9	5	4	6	2

مصفوفة مُدخلة

4	7	2	1	9
7	2	3	2	7
3	2	5	3	5
4	1	2	2	4
9	5	4	6	2

(ب)

الأقل في الجوار التركزي

FOCALMIN (Grid, Neighborhood, Rectangle, 3,3)

مصفوفة مُخرجة

4	7	2	1	9
7	2	3	2	7
3	2	1	3	5
4	1	2	2	4
9	5	4	6	2

مصفوفة مُدخلة

4	7	2	1	9
7	2	3	2	7
3	2	5	3	5
4	1	2	2	4
9	5	4	6	2

(ج)

المتوسط التركزي

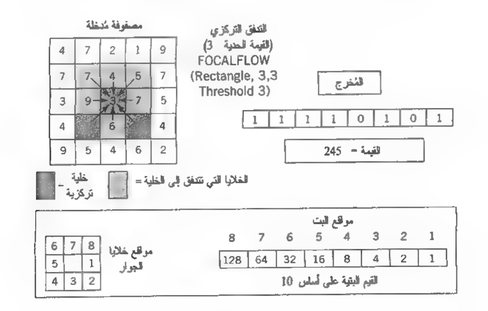
FOCALMEAN (Grid, Neighborhood, Rectangle, 3,3)

مصفوفة مُخرجة

4	7	2	1	9
7	2	3	2	7
3	2	2.4	3	5
4	1	2	2	4
9	5	4	6	2

الشكل رقم (٤.١٠). الوظائف التركزيّة يمكن أن تحتوي العمليات التركزيّة عدداً واسعاً من المقيّمات. نرى، هنا، كيف يمكن أن ننظر إلى مجموعة من الخلايا بأبعاد ٣ x ٣ لتقيّمها حسب (أ) قيمة الأغلبيّة، و(ب) أدنى قيمة، و(ج) قيمة المتوسط. تُرجَّع النتيجة إلى الخلية المركزية.

هناك تطبيق واحد إضافي ومفيد للغاية للوظائف التركزيّة له علاقة بالتدفق أو التشتت عبر أو من خلال الجوارات. فلك أن تتخيل حركة بذور النبات التي تنقلها الرياح خلال سياج ؛ أو حركة الحيوانات عبر قطعة من الأرض ؛ أو تدفق المياه ؛ أو حتى حركة الأفكار (مفهوم غالباً ما يشار إليه بتفشي الابتكار)، والحرائق، والاضطرابات الطبيعية ؛ أو العديد من العناصر الأخرى عبر وخلال الجوارات التي تختلف عن المناطق المحيطة بها. كما تسمح لك بعض النظم الخلويّة بتنفيذ وظائف حركية تركزيّة عبر الجوارات، أو يمكن أن تنشئ عمليّة التدفق أو الحركة الخاصة بك لكل جوار. لقد صُممت هذه الوظيفة في برنامج GRID تحديداً لاستخدام جوار مباشر مكون من (٣ × ٣) خلايا، وتحديد أيّ الخلايا المجاورة تتدفق إلى الخلية المستهدفة (المركزية). وكما قد تتوقع، يُفترض في التدفقات أنها تتحرك من الأرقام العليا إلى الأرقام الدنيا. هناك فرق إضافي واحد رئيس بين عمليّة التدفق التركزيّة وغيرها من العمليات التركزيّة الإحصائيّة، وهو أن الناتج عبارة عن نمط من الخلايا الشبكية (مرة أخرى، ٣ × ٣) والذي يبيّن (٨) خلايا شبكية وهي الخلايا المحيطة بالخلية المستهدفة التي تكون قيمها أعلى من الخلية المستهدفة نفسها (الشكل رقم ٤,١١). أما المُخرج من هذه العمليّة فهو خريطة بِتّيّة (Bit map) تحتوي على معلومات عن موقع الخلية ذات منتج صفري (٠) أو واحد (١) تبيّن اتجاه تدفق تلك الخلية نحو الهدف. عندما يتم تقييم جميع خلايا الشبكة بشكل نهائي، فإن العدد البِتّيّ يُحوّل إلى الأساس العشري (Base 10)، ثم يُخرج. وبهذا تكون المعاملات البِتّيّة، هنا، مفيدة في استخدام الناتج من هذه الوظيفة ضمن وظائف أخرى وجعل العمليّة ذات معنى.



الشكل رقم (٤,١١). التدفق التركزي. هنا، تم تقييم مضلع (مربع) بأبعاد ٣ x ٣ خلايا بناءً على خليته المستهدفة لتحديد ما يتدفق من خلايا الجوار إليها. في هذا المثال، تتدفق الخلايا المشار إليها بالأسهم نحو الخلية المركزية (المحورية)

الوظائف النطاقيّة

تتشابه الوظائف النطاقيّة أو الإقليميّة (Zonal functions) مع الوظائف التركزيّة بشكل كبير، خاصة وأن كل منها قائم على فكرة توصيف خصائص الجوار (Martin, 1996). وكما هو الحال مع الوظائف التركزيّة، فالوظائف النطاقيّة تنشئ شبكات مُخرجة استناداً إلى الخلايا المستهدفة داخل الجوارات التي تُسمى نطاقات (Zones) (الشكل رقم ٤,١٢). ورغم أن الوظائف النطاقيّة تعمل، أيضاً، على فكرة الجوار – إلا أن تعريف الجوار (نطاق) يقتصر، عادةً، على ما هو معرف في الجغرافيا بالأقاليم. وتُعرّف الأقاليم (النطاقات) في قرينة نظم المعلومات الجغرافيّة الخلويّة بأنها مجموعات من الخلايا الشبكية التي تشترك في نفس القيم. يمكن أن تكون الأقاليم أو النطاقات متجاورة (جميع الخلايا مرتبطة)، أو مجزأة (الخلايا غير متصلة)، أو أقاليم متخلخلة أو مثقوبة (أقاليم ذات فجوات). ونجد في الوظائف النطاقيّة أن النطاقات عادةً ما تكون محدّدة مسبقاً في شبكة مستقلة، ليشير ذلك إلى أنه يُشترط، عادةً، وجود شبكتين مُدخلتين – الأولى لتحديد النطاقات والثانية التي سوف تعمل عليها الوظائف الإحصائيّة (الشكل رقم ٤,١٢). ولكي نحافظ على اتساق المصطلحات مع تلك في الجبر الخرائطي، ولكي نذكّر أنفسنا بأن نطاقات الخلايا الشبكية تختلف في تعريفها عن الجوارات التي عُرّفت من خلال الوظائف التركزيّة، فإننا سوف نواصل الإشارة إليها، هنا، بالنطاقات.

المصفوفة المُدخلة الأولى
شبكة نطاقية

[illegible]	[illegible]	2	2
7	7	7	2
7	7	2	2
2	2	2	2

المصفوفة المُدخلة الثانية
شبكة قيم

4	6	2	5
3	4	9	1
2	5	4	2
6	5	8	1

أعلى قيمة نطاقية

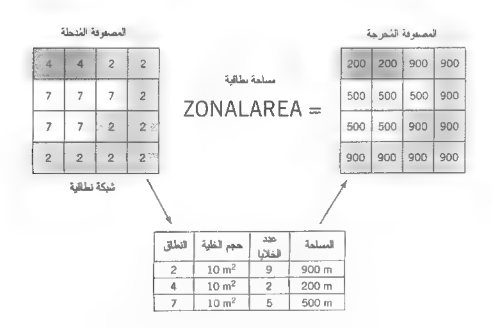
ZONALMAX (Zonal grid, Value grid) =

المصفوفة المُخرجة

[illegible]	[illegible]	8	8
9	9	9	8
9	9	8	8
8	8	8	8

الشكل رقم (٤,١٢). الوظائف النطاقيّة. تقيّم الوظائف النطاقيّة تلك الخلايا التي تقع ضمن النطاق (أو الإقليم)، سواء كان النطاق متجاوراً، أو مجزءاً أو مثقوباً (ذو فجوات). يتم إرجاع النتائج ليس إلى الخلية المستهدفة، وإنما إلى كامل خلايا النطاق.

ومثلما نفعل مع الوظائف التركزيّة، نستطيع أن نقيِّم الجوار (الإقليم أو النطاق) في الخلايا الشبكية مع المعاملات العامة أو الإحصائيّة التالية: الحد الأدنى؛ والحد الأعلى؛ والأغلبيّة؛ والمتوسط؛ والوسيط؛ والانحراف المعياري؛ والتنوع؛ والمدى؛ والمجموع؛ وغيرها كثير. وهناك، أيضاً، مجموعة من المعاملات (Operands) الهندسية التي تستطيع أن تنتج قياسات هندسية للنطاق في الشبكة، مثل المساحة، والمحيط، وحتى السُّمك (أثخن نقطة داخل كل منطقة) (الشكل رقم ٤,١٣). كما تقدم الوظائف النطاقيّة، سواء كانت إحصائية أو هندسية، قيماً إما في شكل شبكات مُخرجة حيث تكون القيمة في كل الخلايا الشبكية في كل نطاق متماثلة، وإما في شكل بيانات مجدولة مُخرجة في النموذج الخلوي الموسّع. وعندما يكون الناتج أو المُخرج شبكة خلوية، فإن كل وظيفة اُستخدمت في التقييم تقترن مع نوع واحد من المؤشرات الإحصائيّة، أو قيم الظاهرة، وتُسند النتيجة إلى كل خلية في الشبكة المُخرجة. وفي النموذج الخلوي الموسّع، يُخزَّن كل نوع من البيانات الناتجة في شكل بند (عنصر) مستقل في قاعدة البيانات.



النطاق	حجم الخلية	عدد الخلايا	المساحة
2	$10\ m^2$	9	900 m
4	$10\ m^2$	2	200 m
7	$10\ m^2$	5	500 m

الشكل رقم (٤,١٣) مساحة النطاق. أحد أنواع الوظيفة النطاقيّة يقوم بتحديد المساحة لكل الخلايا الشبكية المحصورة ضمن النطاق. يتم – بعدئذ – إرجاع المساحة الكلية لكل خلية داخل النطاق.

توفّر الوظائف الهندسية بعض المعلومات المفيدة جداً لإجراء تحليلات روتينية إضافية للشكل –مثلما قد يصادف المرء في البيئة الطبيعية والعلوم ذات الصلة (McGarigal and Marks, 1994). فمساحة النطاق ومحيطه (حدوده) واضحان، إذ تُحسب مساحة النطاق من خلال عد خلايا الشبكة وضرب ذلك بمساحة كل خلية. ومن

المهم أن نتذكر أن حساب مساحة النطاق يعمل على النطاقات، وليس على مجموعات معزولة من الخلايا. وعليه، فإذا كان نطاقك إقليماً مجزءاً، وليكن، ثلاثة أجزاء، فإن المساحة سوف تكون المساحة الإجمالية لجميع الأجزاء الثلاثة. أما وظيفة حساب محيط النطاق فتجمع أطوال الجوانب الداخلية والخارجية للخلايا التي تشكّل النطاق. وكما هو الحال مع مساحة النطاق، فإن محيط النطاق يعد وظيفة - دالة - حسابية لجميع شظايا أو أجزاء النطاق المجزئ وللمحيط الإجمالي في كل الفجوات (الثقوب). وفي كلا الحسابين للمساحة وللمحيط، إذا كنت بحاجة إلى عزل الأجزاء الفردية فإنك لابد أن تعزل أولًا كل واحد منها على حدة، من خلال عمليات إعادة التخصيص، أو إعادة التصنيف، أو الاختيار، بحيث يكون كل جزء نطاقاً أو إقليماً مستقلاً بذاته.

الوظائف الكتليّة

إن الوظائف الكتليّة (Block functions) هي في الأساس نسخ معدلة من الوظائف التركزيّة. فهي تستخدم شكلاً من أشكال النوافذ المتحركة، عادةً مستطيل[1]، لا تختلف عن النوافذ أو المرشّحات المستخدمة في الوظائف التركزيّة. أما الاختلافات فتكمن في الكيفيّة التي تُخزن بها القيم وكيف تتحرك أو تتنقل النافذة. ففي حالة الوظائف الكتليّة، يتم تقييم جميع القيم في الكتلة، ثم تُسند القيمة الناتجة لجميع الخلايا المناظرة لها في الشبكة المُخرجة، ثم تنتقل الكتلة بعد إنجاز ذلك بأكملها إلى منطقة جديدة لم تُجرَ عليها حسابات بعد (الشكل رقم ٤,١٤). تشمل العمليات الكتليّة التقليديّة عادةً - كما في العمليات التركزيّة - كل أو بعض ممّا يلي: الحد الأدنى؛ والحد الأعلى؛ والأغلبيّة؛ والمتوسط؛ والوسيط؛ والانحراف المعياري؛ والتنوع؛ والمدى؛ والمجموع؛ وغيرها. يبيّن الشكل رقم (٤,١٥) نتائج أربع وظائف كتليّة: الحد الأدنى؛ والمتوسط؛ والتنوع؛ والمجموع. إن الشيء المهم ملاحظته في هذه الأشكال التوضيحية هو أن النتائج يتم تخزينها في شكل شبكة كاملة بنفس الحجم، والشكل، والموقع، مثلما اُدخلت. وبعد تنفيذ ذلك، تنتقل الكتلة إلى موقع جديد تماماً؛ أي خلايا لم يجر العمل عليها بعد في الكتلة السابقة. وبعبارة أخرى، في كل مرة يتم تقييم الشبكة، فإنها تصبح فريدة أو جديدة تماماً. انظر كيف يختلف هذا، على سبيل المثال، عن الوظائف التركزيّة.

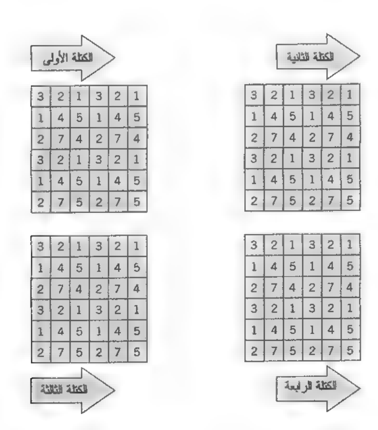
الوظائف الشموليّة

لقد رأينا كيف يمكننا أن نعمل على أساس خلية بخلية (الوظائف المحليّة)؛ ثم رأينا كيف يمكننا أن نوسّع نظرتنا لشبكتنا باستخدام الجوارات (مع الوظائف التركزيّة)، والأقاليم المتجاورة، والمجزأة، والأقاليم ذات

---

(١) الترجمة الحرفية للكلمة التي أوردها المؤلف هي مستطيل، لكن المقصود هو مضلع مكون من أربعة أضلاع كل زاوية فيه عبارة عن ٩٠ درجة، لكننا نشاهد أن الجوار مكون من عدد فردي للخلايا مثل 5x5 أو ٣ x ٣، فيصبح الشكل مربع عدداً لكن حجم الخلية قد يجعله مستطيلاً لأن أبعاد الخلية قد تكون مختلفة. (المترجم)

الفجوات (مع الوظائف النطاقيّة)، ومجموعات الخلايا الشبكية المستطيلة الفريدة (مع الوظائف الكتليّة). والآن ننتقل إلى ما هو حقا نظرة الطائر (أو النظر من عين طائر محلّق) (bird's-eye view) من خلال النظر في شبكتنا كلها دفعة واحدة باستخدام الوظائف الشموليّة (Global functions). تشمل التقييمات الناتجة من العمليات الشموليّة عمليات الهندسة الإقليديّة البسيطة، بالإضافة إلى قياسات المسافة الوظيفيّة (التكلفة)، ومجموعة كبيرة أخرى، والتي تولّد منتجاً يمكن أن يكون، لكن ليس بالضرورة، وظيفةً لجميع الخلايا في الشبكة بأكملها. ولأن الناتج من العمليات الشموليّة قد يكون مرتبطاً وظيفياً بكل خلية في شبكة واحدة أو أكثر من الشبكات في أي وقت، فإنه من الضروري أن يكون للبرامج قدرة للوصول إلى هذه الخلايا جميعها. وخلافاً لغيرها من الوظائف التي شهدناها، فإن مجموعات الوظائف الشموليّة غالباً ما تختلف اختلافاً جذرياً عن بعضها. ويمكننا أن نقسمها إلى ما يلي:



الشكل رقم (٤,١٤) الوظائف الكتليّة بخلاف الوظائف النطاقيّة، تعمل الوظائف الكتليّة على كتل محدّدة المعالم كل على حدة في كل مرة، ثم تنتقل إلى كتلة أخرى فريدة (مختلفة). تعد مثل هذه الوظائف ذات النوافذ المتحركة طرائق شائعة في خوارزميات الترشيح في برنامج الاستشعار عن بعد.

المصفوفة المدخلة

3	2	1	3	2	3
1	4	5	6	4	5
2	7	3	2	7	3
3	2	1	3	2	4
1	4	5	[illegible]	4	5
2	7	3	2	7	3

الأقل
MIN
3,3 Block
=

المصفوفة المخرجة

1	1	1	2	2	2
1	1	1	2	2	2
1	1	1	2	2	2
1	1	1	1	1	1
1	1	1	1	1	1
1	1	1	1	1	1

(أ)

المصفوفة المدخلة

3	2	1	3	2	3
1	4	5	6	4	5
2	7	3	2	7	3
3	2	1	3	6	4
1	4	5	7	4	5
2	7	3	2	7	3

المتوسط
MEAN
3,3 Block
=

المصفوفة المخرجة

3.1	3.1	3.1	3.9	3.9	3.9
3.1	3.1	3.1	3.9	3.9	3.9
3.1	3.1	3.1	3.9	3.9	3.9
3.1	3.1	3.1	4.5	4.5	4.5
3.1	3.1	3.1	4.5	4.5	4.5
3.1	3.1	3.1	4.5	4.5	4.5

(ب)

المصفوفة المدخلة

3	2	1	3	2	1
1	4	5	6	4	5
2	7	3	2	7	3
3	2	1	3	6	4
1	4	5	7	4	5
2	7	3	2	7	3

التنوع
Variety
3,3 Block
=

المصفوفة المخرجة

6	6	6	7	7	7
6	6	6	7	7	7
6	6	6	7	7	7
8	8	8	6	6	6
8	8	8	6	6	6
8	8	8	6	6	6

(ج)

المصفوفة المدخلة

3	2	1	3	2	3
1	4	5	6	4	5
2	7	3	2	7	3
3	2	1	3	6	4
1	4	5	7	4	5
2	7	3	2	7	3

المجموع
SUM
3,3 Block
=

المصفوفة المخرجة

28	28	28	35	35	35
28	28	28	35	35	35
28	28	28	35	35	35
30	30	30	41	41	41
30	30	30	41	41	41
30	30	30	41	41	41

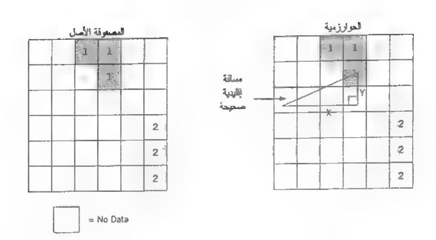
(د)

الشكل رقم (٤,١٥). عينة من الوظائف الكتليّة. هناك أربعة أنواع لاستخدام الوظيفة الكتليّة لتقييم كل خلوية بأبعاد ٤ x ٤ خلية القسيم المرجّعة هي (أ) القيمة الأدنى، و(ب) المتوسط، و(ج) التنوع (عدد القيم المختلفة)، و(د) مجموع كل الخلايا التسع في كل كتلة.

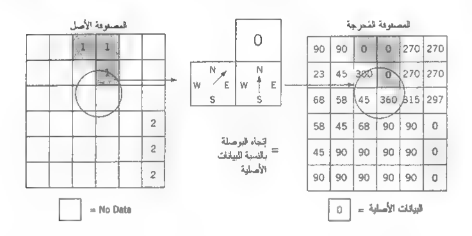
• وظائف المسافة الإقليديّة الشموليّة.
• وظائف معكوس المسافة المرجَّحة (الموزونة) الشموليّة.
• وظائف السطح الشموليّة.
• وظائف المياه الشموليّة.
• وظائف المياه الجوفية الشموليّة.
• الوظائف الشموليّة متعددة المتغيّر.

وظائف المسافة الإقليديّة: صُممت وظائف المسافة الإقليديّة (Euclidean Distance Functions) لحساب قياسات المسافة من خلية مصدرية (Source) أو مجموعة (جوار) خلايا مصدرية. فهي تحسب كل من المسافة (المسافة الإقليديّة EucDistance) والاتجاه الإقليدي (EucDirection) من المصدر (سواء كان خلية شبكية فردية أو مجموعة من الخلايا الشبكية) إلى خلاياه المجاورة الأقرب. بالإضافة إلى ذلك، فإن وظيفة التخصيص المكاني الإقليدي (EucAllocation) تعزل كل الخلايا الشبكية التي تم تخصيصها (إسنادها) لخلية أو جوار مصدري على حدة، على أساس أيّها الأقرب إلى المصدر. وتُحسب المسافة الإقليديّة من مركز المصدر إلى كل خلايا الشبكة المحيطة. تستخدم بعض أبسط حزم برامج نظم المعلومات الجغرافيّة الخلويّة مسافة الخلية، في حين تستخدم الحزم البراجية الأكثر تقدماً مسافة الخلية القصوى (بناءً على درجة وضوح الخلية)، ثم تستخدم نظرية فيثاغورس لحساب وتر الزاوية للمثلث القائم الزاوية (الشكل رقم ٤,١٦). وفي الحالة الأخيرة، إذا كانت المسافة الأقصر أقل من مسافة قصوى محدّدة، فإن القيمة تُسند إلى الخلية الشبكية الناتجة. أيضاً، إذا كان برنامجك يستخدم نظرية فيثاغورس، فإن قيمة المسافة تكون عدداً كسرياً. لكن هناك حالات غالباً ما تكون فيها الخلية المصدريّة على مسافة متساوية من هدفين أو أكثر. فتُسند القيمة، في هذه الحالة، إلى الخلية الأولى التي صادفها البحث. ولهذا السبب، يجب عليك أن تدرك طريقة برنامجك في البحث عن المسافة والاتجاه، ففي برنامج GRID لحزمة برامج اسري (ESRI)، على سبيل المثال، يكون البحث على أساس صفا بصف، إبتداءً من الجزء العلوي من يسار الشبكة.

يستطيع القياس الاتجاهي الإقليدي، وذلك حسب برنامجك، أن يقوم بإسناد أرقام رمزية لتمثيل الاتجاهات الأصلية (الأربعة) من الخلايا المصدريّة، بالإضافة إلى قيم إضافية للاتجاهات غير الأصلية (أو الفرعيّة). فعلى سبيل المثال، يمكنك أن تستخدم نظاما باتجاه عقرب الساعة حيث يكون لديك صفر (٠) لتمثيل إما (٠°) أو (٣٦٠ °)، وإما (١) يمثّل (٤٥°)، وهلمّ جرّاً. أو بإمكانك إسناد اتجاهات البوصلة الفعليّة في الخلايا المُخرجة، باستخدام بوصلة لـ (٣٦٠) درجة (الشكل رقم ٤,١٧). وفي هذا المثال، سيُستخدم رقم (٣٦٠°) لتمثيل الشمال، وبهذا يتم حفظ قيمة الصفر (٠) للخلايا المصدريّة. هذه ليست سوى بضعة أمثلة من النظم أو الطرائق التي يمكن أن تُطبَّق.

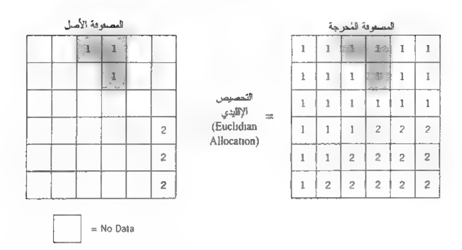


الشكل رقم (٤,١٦) استخدام نظرية فيثاغورس لتقييم مسافة طول القطر. تُستخدم هذه النظريّة متى ما كانت مسافات خلايا الشبكة تُحسب على المنحنى القطري وذلك لضمان الصحة.



الشكل رقم (٤,١٧) طريقة الترميز الاتجاهي. هذه طريقة واحدة لترميز الاتجاهات داخل الشبكة الخلويّة في نظام المعلومات الجغرافيّة. نرى، هنا، أن اتجاهات البوصلة (٣٦٠°) تم استخدامها.

تنتج وظيفة التخصيص المكاني الإقليدي (EucAllocation) شبكة مُخرجة تسجل (Record) لجميع مواقع الخلايا الشبكية هوية المصدر الأقرب، سواء كان خليةً أو جواراً. ولتسجيل التخصيص، فإن القيم الشبكية لكل خلية مصدرية أو جوار مصدري تُسجل للخلايا المُخصصة. وعليه، فإذا كان لديك مصدري جوار ورُقّماً بـ (١) و(٢)، فإن الخلايا التي خُصّصت على أنها الأقرب لخلية المصدر (١) سوف يُسند لها قيمة (١)، وقيمة (٢) للخلايا الأقرب للجوار المصدري (٢) (الشكل رقم ٤,١٨).



الشكل رقم (٤,١٨). التخصيص المكاني الإقليدي. تسجل هذه الوظيفة موقع الخلية الأقرب لمجموعة من الخلايا غير المُخصَّصة. يسجل المُخرج العدد الذي تم تخصيصه مسبقاً لقيم الخلايا الأقرب.

وظائف المسافة الموزونة: تقوم وظائف المسافة الموزونة (Weighted Distance Functions) على مفهوم مسافة تكلفة السفر (أو الانتقال) المتراكمة من كل خلية إلى الخلايا المصدريّة. تستطيع المسافة ذات التكلفة المتراكمة أن تتضمن، أيضاً، فكرة وجود سطح الاحتكاك (Friction surface)، ومن ثم إنتاج خلايا مُخرجة تقترب كثيراً من فكرة المسافة الوظيفيّة بدلاً من الإقليديّة. إن تكاليف الانتقال (المسافة الوظيفيّة) يمكن أن تستند إلى الوقت الذي يستغرقه الانتقال، أو قد تكون مرتبطة مع حسابات نقدية (مثل، تكلفة سيارة الأجرة أو تكلفة الغاز)، أو أنها يمكن أن تستند إلى وظيفة ما للتفاقم (التراكم) أو التفضيل. ولتنفيذ هذه الحسابات، فإن البرنامج يتطلب شبكتين مُدخلتين: شبكة مصدر، وأخرى تمثّل سطحا للتكلفة أو الاحتكاك أو شبكة معاوقة. يمكن أن تحتوي شبكة المصدر خلية واحدة، أو خلايا متعددة، أو مجموعات مفردة أو متعددة من الخلايا. وبسبب الطريقة التي من خلالها يتم حساب المسافة، يقيّم البرنامج فقط الخلايا التي تحمل قيما صفرية (٠) (الخلايا البداية)، أو أكبر للخلايا اللاحقة. وإذا كنت ترغب في تجنب تقييم خلايا معينة مختارة، فإنها يجب ألاّ تتضمن أي بيانات (NoData).

تستطيع برامج نظم المعلومات الجغرافيّة الخلويّة تنفيذ عمليّة المسافة المرتبطة بالتكلفة من خلال طرائق مختلفة. وكل هذه الطرائق تضم وظيفة جمعية (Additive) للمسافة الإقليديّة فتربطها بقيم الاحتكاك أو المعاوقة لإنتاج قيم احتكاك أو معاوقة نهائية – يُطلق عليها أحياناً بسطح التكلفة. فإذا انتقلت من خلية إلى خلية على طول اتجاه أفقي أو رأسي، فإنك ستضيف تكلفة كل خلية شبكية وتقسّم ذلك على (٢) على أساس المعادلة التالية :

$$a1 = \frac{cost1 + cost2}{2}$$

حيث إن **a1** هو التكلفة لكل زوج تكلفة، و **cost1** يمثّل التكلفة المخصصة للخلية الشبكية الأولى، و **cost ٢** التكلفة المُخصصة للخلية الثانية المُصادَفة. يمكن تعميم هذا - بعدئذ - بسهولة للحركة من الخلية الثانية إلى الثالثة من خلال تبديل قيم التكلفة هكذا:

$$a1 = \frac{cost2 + cost3}{2}$$

حيث إن القيمة الجديدة (**cost3**) تكون القيمة المُخصصة للخلية الثالثة. وفي هذه الحالة (حالة الاتجاهين الأفقي والرأسي)، تُحسب مسافة التكلفة المتراكمة ببساطة من خلال إضافة كل من قيم الربط (**a1, a2...**) لتحقيق المعادلة التالية:

$$accumulated\ cost = a1 + a2$$

وبطبيعة الحال، فالحركة في الشبكة لا تقتصر على الاتجاهات الأفقية والرأسية. أما الحركة القُطرية تتطلب مسافة انتقال أكبر من طول خلية واحدة، استناداً إلى نظرية فيثاغورس لحساب طول وتر الزاوية القائمة، وتنتج مُضاعِفاً قدره (١,٤١٤٢١٦) - الجذر التربيعي لـ ٢ - عندما يكون طول الخلية (١,٠) على الجانب. وعليه، فإن الحركة القطرية بين الخلية الأولى والخلية الثانية ستكون كالتالي:

$$a1 = 1.414216 \ \frac{cost1 + cost2}{2}$$

وعندما تُحسب التكلفة المتراكمة للحركة القطرية من خلية (١) إلى خلية (٢) ثم إلى خلية (٣)، فإنها تستخدم المعادلة التالية:

$$accumulated\ cost = a1 + 1.414216 \ \frac{cost2 + cost3}{2}$$

وهي تبدو، بعد أن بُسّطت، متطابقة مع المعادلة للحركتين الأفقية والرأسية. أما الفرق الوحيد في هذه الحالة فهو في الحساب الأولي لمسافات الربط (أي، **a1**، و **a2**، و **a3**، ... إلخ).

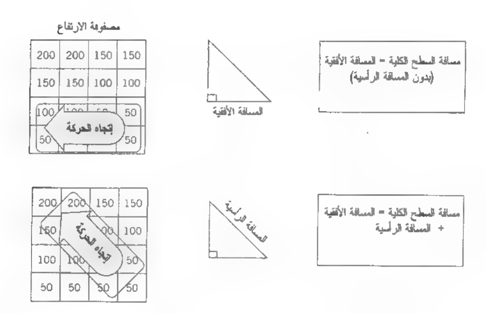
إن عمليّة مسافات التكلفة المتراكمة هي في مجملها عمليّة تكراريّة تبدأ عند الخلايا المصدريّة، ثم تختار أقل خلية تكلفة في الشبكة ثم تُراكِم القيم للشبكة المُخرجة بالطريقة التالية. أولاً، يتم اختيار الخلايا المصدريّة ويُسند لها قيمة (٠)، لتبيّن أنه لم يطرأ أي تراكم بعد عند هذه الخلايا. بعد ذلك، ينشّط البرنامج جميع الخلايا المجاورة للخلايا المصدريّة، ويحسب قيم تكاليفها على أساس المعادلات السابقة، ثم يختار من هذه الخلايا تلك التي سوف تُرسل (أو تسند) إلى الشبكة المُخرجة، كما يجب أن تبين هذه الخلايا (المسندة) المسار (الأقل تكلفة) التالي – مسار آخر – نحو المصدر.

وبمجرد أن يختار البرنامج الخلية المُخرجة (الأقل تكلفة)، يقوم بإضافتها إلى قائمة خلايا التكلفة المتراكمة، ثم يبحث في خلاياها المجاورة ليحدّد أيّها تكون قادرة على الوصول إلى المصدر. لكن لا تشمل القائمة إلا الخلايا التي لها هذه القدرة فقط. وكما رأينا من قبل، فإن تكلفة التنقل تُحسب باستخدام المعادلات أعلاه. وتستمر العمليّة عن طريق اختيار أدنى تكلفة، وتوسيع نطاق الجوار حول الخلايا المختارة، واحتساب تكاليف جديدة وإضافتها إلى القائمة النشطة. ثم تستمر العمليّة حتى يصادف البرنامج حافة الشبكة، أو حدود النافذة (نافذة البحث)، أو الحد الأقصى للمسافة (مختارة مسبقا من قبل المستخدم).

يمكن أن ينتج من خلال تعديل في وظيفة مسافة التكلفة وظيفةً تُسمى غالبا بوظيفة الصرف (Drain) أو المسار (Route)، وتُستخدم غالباً بالاشتراك مع وظائف التكلفة، ووظائف المسافات الإقليديّة والهيدرولوجية (المائية)، وغيرها من وظائف نظم المعلومات الجغرافيّة الخلويّة الخاصة بنمذجة عمليات التشتت والحركة. وتذهب وظيفة مسافة المسار إلى أبعد من مجرد حساب التكلفة المتراكمة فوق السطح وذلك من خلال التعويض عن مسافة السطح الفعليّة التي قُطعت، بدلاً من النظرة المستوية للسطح، كما أنها تشتمل على العناصر (العوامل) الأفقية والرأسية التي تؤثر على الحركة من مكان إلى آخر. هذه الوظيفة هي المستخدمة في نمذجة التشتت وتدفق الحركة وكذلك تحديد المسار الأقل تكلفة (وظيفة ترتبط كثيراً بقدرات النمذجة الشبكية في نظم المعلومات الجغرافيّة الخطّيّة).

ومن الأمثلة المألوفة على تأثير عنصر واحد من هذه العناصر، أثر الارتفاع على استهلاك الوقود لسيارة تنتقل من نقطة (أ) إلى نقطة (ب). فالمسافة الإجمالية المقطوعة، التي سنطلق عليها مسافة السطح، ومن ثمّ كمية الوقود المستخدمة هما وظيفتا المسافة المستوية (الأفقية) بين نقطة الانطلاق ومقصدها، والمسافة الرأسية. إن إضافة المسافة الرأسية بين النقطتين تزيد في المسافة السطحية الإجمالية التي قُطعت ممّا ينتج منه استهلاكاً أكبر للوقود. ولتبسيط هذا، يمكن توظيف نظرية فيثاغورس لإظهار الزيادة في السفر أو الانتقال على أساس الاختلافات في الارتفاع بين النقطة (أ) والنقطة (ب) (الشكل رقم ٤،١٩). فإذا كانت المسافة المستوية بين الموقعين، على سبيل المثال، (٢٥) ميلاً، وتستهلك السيارة جالوناً واحداً من الوقود لكل (٢٥) ميلاً على السطوح المستوية، فإن الرحلة سوف تكلّف (١) جالون تقريباً من الوقود. ولكن، إذا كان هناك فارقاً في الارتفاع قدره (٣) أميال بين نقطتين،

فسنستخدم نظرية فيثاغورس للحصول على المسافة السطحية الكلية (أحياناً تُسمى بسجل مسافة الطريق)، وسنرى – عندئذ – أن قيمة المسافة السطحية زادت إلى ما يقرب من (٢٥,١٨) ميلاً ؛ مما يعني أننا سوف نستهلك حوالي (٠,١٨) جالوناً إضافياً من الوقود. وبطبيعة الحال، هذا يفترض ثلاثة أشياء – أن الطرق سلسة تماماً، وأنه لا توجد ريح، وأنه لا يوجد أيّ أثر ناتجاً عن قوة من قوى التجاذب – وهي فرضيات لا يمكن اعتمادها إذا كانت حساباتنا ستكون ممّثلة للواقع على أقل تقدير.



الشكل رقم (٤,١٩). المسافة الوظيفيّة. المسافة ليست أفقية فقط عادةً ما يكون للعناصر الإضافية تأثير على المسافة الحقيقية التي قُطعت في هذا المثال، أضفنا عنصراً (عامل) رأسياً ناتجاً من التغيرات في الارتفاع.

قد لا تبدو وعورة السطح عنصراً أو مكوِّناً رئيساً لمسافة الطريق، لكنك قد تحتاج إلى التفكير في أثر الطرق الحصوية مقابل الطرق السريعة، أو الطرق السريعة الجديدة مقابل طرقات سريعة مملوءة بالحفر، على السرعة التي تشعر عندها بالراحة أثناء القيادة. لكن في المسافات الطويلة، فإنه حتى عوامل وعورة سطح الطريق الثانوية يمكن أن يكون لها تأثير مضاعف على استهلاك وقود السيارة. فعامل الاحتكاك – كما شاهدنا في وظيفتنا الخاصة بمسافة التكلفة – يمكن إضافته للتعويض عن خصائص الطريق الخطرة هذه بحيث يمكن إدراجها في تقييمنا لمسافة الطريق.

يعد افتراضنا الثاني المتعلق بظروف الرياح أحد مجموعة من العوامل التي يُطلق عليها بالعوامل الأفقية التي تؤثّر في تكلفة السفر أو الانتقال. إذ يدرك السائقون أن الرياح القادمة من الخلف (الريح الخلفية) سوف تدفع المركبة

في الغالب إلى الأمام (الشكل رقم ٤,٢٠ أ)، مع الحد من استهلاك الوقود، في حين أن الرياح التي تتحرك نحو السيارة (الريح الأمامية) سوف تزيد من استهلاك وقود المركبة (الشكل رقم ٤,٢٠ ب). أما الريح المعترضة أو المتعامدة، التي تصل من زوايا مختلفة، فلها عناصر إيجابية وسلبية، حيث إن المتَّجَه (Vector) الناتج هو مزيج من سرعة واتجاه السيارة، وسرعة واتجاه الريح (الشكل رقم ٤,٢٠ ج).

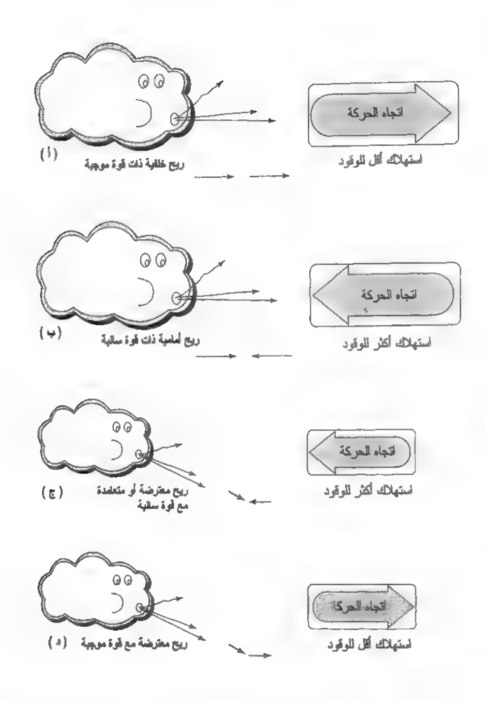
إن أثر الارتفاع والجاذبية على استهلاك الوقود هو عامل رأسي يؤثر على وقود المركبة بطريقة واحدة من طريقتين مختلفتين، وذلك حسب اتجاه المركبة إن كان صعوداً أو نزولاً، وبطبيعة الحال، حسب انحدار التل المرتبط بالاتجاه الرأسي للانتقال. ومثلما تتوقع، فإذا اتجهت نحو الأسفل، فإن استهلاك الوقود سيتناقص على أساس الانحدار، في حين إذا اتجهت للأعلى، فإن استهلاك الوقود سوف يتزايد، ومرة أخرى يعتمد ذلك على الانحدار.

يُتوقع أن يسمح نظام المعلومات الجغرافيّة الخلوي الذي يعمل بكامل وظائفه بإدراج كل هذه العوامل عند تقييم مسافة المسار، سواء كان يقوم بنمذجة مصدر للتشتت أو الانتشار، أو نمذجة هدف متحرك مثل المركبة. يمكن أن تكون هناك معادله بسيطة واحدة من اجل دمج هذه العوامل وهي على النحو التالي:

$$fuel\ used = SD \cdot F \cdot HF \cdot VF$$

حيث إن ***SD*** مجموع مسافة المنحدر، و ***F*** عامل الاحتكاك، و ***HF*** العامل الأفقي (في حالتنا، مقاومة الرياح)، و***VF*** العامل الرأسي المتعلق بالحركة إلى أعلى أو أسفل المنحدر. سوف يتعيّن تقييم كل من هذه العوامل كمياً، أو يمكن أن يكون ذلك قبل إدراجها في المعادلة. فعلى سبيل المثال، يجب أن يتم تقييم العامل الرأسي أولاً لتحديد الانحدار (متوسط الانحدار بين النقطتين (أ) و(ب)، في أبسط الحالات). بالإضافة إلى ذلك، سيتحتم علينا أن نبيّن بطريقة معينة اتجاه سير المركبة بالنسبة للمنحدر، سواء صعوداً أو هبوطاً.

حتى استهلاك الوقود البسيط هذا في المركبات لديه بعض التفاصيل المزعجة التي تجعل النموذج أكثر تعقيداً ممّا سردناه آنفاً. فعدد قليل ممّا استعرضته يستند على مدى التغير في كل عامل من العوامل. فمن المستبعد، على سبيل المثال، أن كل من سطح الطريق، واتجاه الرياح وسرعتها، والمسافة السطحية، والانحدار، ستكون كلها موحدة على طول كامل المسافة بين النقطتين (أ) و(ب). فإذا كان مثالنا الخاص بالحركة سيُبنى ليس على المركبات فقط بل على ظواهر بيولوجية (حيوية)، أو على ظواهر محسوسة مثل الإنسكابات الكيميائية أو الحرائق، فإن العديد من قواعدنا إما أنها ستكون مختلفة جذرياً، وإما أنها قد تكون غير مهمة أصلاً. فعلى سبيل المثال، نجد أن المنحدر الذي يأخذ شكلاً عمودياً تقريباً والذي قد غُطي بنباتات جافة تعمل كوقود فمن المرجح أنه يزيد الحركة، بدلاً من إبطائها.



الشكل رقم (٤,٢٠). عوامل تكلفة التنقل الأفقية. تعد مقاومة الرياح مثالاً متميزاً على كيف يمكن أن تؤثر العوامل الأفقية على المسافة الوظيفيّة. في هذا المثال، نرى في (أ) أن الرياح الخلفية تخفض استهلاك الوقود (مقياسنا للمسافة الوظيفيّة)، وفي (ب) تزيد الرياح الأمامية (المضادة في الاتجاه) استهلاك الوقود، وفي (ج) يكون للرياح المعترضة أو المتعامدة تأثيراً أساسه عنصراً لقوة والاتجاه.

وفي هذا المثال نفسه، فإن سطحاً وعراً مؤلفاً من شجيرات جافة، على سبيل المثال، سيكون صعباً جداً للعديد من المركبات، لكنه سيجعل من حركة النار أو الحريق سريعة جداً. وهناك مثال آخر يبيّن كيف أن العنصر الرأسي قد لا يتصل حتى بالانحدار الطوبوغرافي نفسه. ففي بعض الحركات، مثل تلك الخاصة بالغازات الخطرة الناتجة من الانسكابات أو الرماد البركاني الغني بالكبريت، نجد أن الانحدار قد يكون في الواقع وظيفة الاختلافات في الضغط الجوي الناجم عن فرق التسخين والتبريد، أكثر منه وظيفةً للآثار الطوبوغرافية. أو قد يؤثر الرفع الجبلي على قيم الضغط الجوي هذه، ومن ثمّ يزيد من تعقيد نموذجك.

وكما ترى، إذن، فإن نمذجة مسافة الطريق أو السير - وكما هو الحال مع مسافة التكلفة - تعد عمليّة فريدة للظواهر قيد النمذجة، وللعوامل البيئيّة التي تؤثر عليها. فنظام المعلومات الجغرافيّة الخلوي القادر على أداء هذه الوظائف الشموليّة ينبغي أن يوفر بيئة مرنة يمكن من خلالها التحكم في هذه العوامل. سوف تُنفذ النمذجه الفعليّة في أغلب الأحيان كعمليّة تكراريّة أو معاودة، مطابقةً تقريبا لتلك التي ذُكرت لمسافة التكلفة لكن مع إدراج بعض أو كل العوامل التي وردت آنفاً. وبدلاً من أن نكرر هذا، يهمني أن ألقي نظرة سريعة على الأقل على فكرة تغطيات أو طبقات الاحتكاك المستخدمة في العديد من الوظائف الشموليّة، خصوصاً تلك التي استعرضناها سابقاً.

تبدو فكرة قيم الاحتكاك نظرياً بسيطة للغاية: فالاحتكاك أو المعاوقة العالية يعني أن قيم الاحتكاك عالية. إلا أنه وكما رأينا في سطوح التكلفة ومسافات التكلفة، هناك أشكال عديدة للتكلفة والعديد من أشكال الاحتكاك التي يمكن تطبيقها. كما تؤثر عمليّة تخصيص قيم الاحتكاك تأثراً عميقاً على طبيعة النماذج التي تستخدمها، وحقيقتها، ومقبوليتها. فقبل أن تخصِّص قيم الاحتكاك، تأكد من تحديد مستوى قياس البيانات الجغرافيّة الذي تحتاج أن تستخدمه (ترتيبي، أو فاصلي، أو نسبي). هذا يتطلب أن تعرف طبيعة قيمة الاحتكاك (ما التمثيل الذي تعنيه؟)، وهل يمكن قياسها، أو أنه تم قياسها من قبل، وما هي الكيفيّة التي يُراد من خلالها أن تتفاعل هذه القيم مع أيّ معاملات، أو وظائف، أو إجراءات أخرى، أثناء تنفيذ عمليّة النمذجة. فعلى سبيل المثال، إذا لم يكن لديك قيم احتكاك فعليّة متاحة من خلال القياس الفعلي، فقد تستخدم شكلاً من أشكال القيم الترتيبية المصنفة. وفي الأشكال النمطية المألوفة للتصنيف الترتيبي نجد أن القيم يمكن أن تتراوح بين (٠) (لا يوجد احتكاك) إلى (١٠) (أقصى قدر من الاحتكاك). هذا يجعل من عمليّة تخصيص قيم الاحتكاك عمليّة بسيطة نسبياً. ومع ذلك، فإنها تفرز ثلاث مشكلات رئيسة. أولاً، يعد اشتقاق التصنيف الترتيبي، في كثير من الأحيان، عمليّة عشوائية إلى حد ما. كما أن هناك القليل من الأبحاث التي أُجريت حول هذا الموضوع، وما تم إنجازه (روبنسون ١٩٩٠م) لم يكن مصاغاً في شكل موضوعي متفقاً عليه في نظم المعلومات الجغرافيّة. ثانياً، لا يمكن مقارنة القيم الترتيبية إلا داخل طيف القيم التي هي مستمدة منه؛ كأن تُقارن درجات مستويات منهج حساب التفاضل والتكامل (مثل: AB, CB) مع بعضها، وليس مع الدرجات المستخدمة في تحديد المستوى في اللغة الانجليزية مثلا (أي، A، B، ...). وأخيراً، وتبعاً

للقصور الثاني، فإن أي معالجة رياضيّة للتراتيب - مثلما يحدث في عمليّة ضرب الطبقات بعضها ببعض في الجبر الخرائطي - فإنه من المرجح أن ينتج ذلك نتائج عددية غير صحيحة. وللأسف، فإن معظم برامج نظم المعلومات الجغرافيّة الخلويّة غير حساسة لمستويات قياس البيانات الجغرافيّة، حتى أنها تسمح بأن يُستخدم التمثيل العددي للفئات الاسميّة داخل المعادلات الرياضيّة. وباختصار، كن حذراً من المصدر، ومستوى القياس، والاستخدام عند عمل قيم سطح الاحتكاك.

وظائف السطح: لن تكون أي من العمليات الشموليّة كاملة إذا لم تشمل معالجة الظواهر السطحية. يمكن أن تكون البيانات الإحصائيّة السطحية ممثلة في شكل أعداد كاملة (Integer)، بحيث تمثّل كل خلية قيمةً واحدة عددية كاملة، مثل بيانات الارتفاع، أو بيانات كسرية، حيث تمثّل كل خلية بقيمة كسرية (Floating point value). تُعتبر هذه القيم، في معظم الحالات، قيماً نقطية كما أنها، أيضاً، في أغلب الأحيان تُخزَّن على أنها النقطة الوسطى لكل خلية بالشبكة. ومن بين الاستخدامات الأكثر شيوعاً لهذه البيانات النقطية تلك المتعلقة بإنشاء سطوح وصفيّة التي تتيح التنبؤ بقيم جديدة وإنشاء مُخرج شبكي سطحي الاشتقاق.

تشمل الخوارزميات المتعلقة باستخراج السطح عموماً طريقة اشتقاق معكوس المسافة المرجحة أو الموزونة (IDW)، والكريغنغ (Kriging)، وإسبلاين (Spline)، ونمذجة اتجاه السطح العام (Trend surface modeling)، وكلها تتنبأ بقيم مُخرجة تستند إلى عينة من بيانات نقطية سطحية. عليك أن تلاحظ أن هذا لا يشمل الاشتقاق الخطي؛ ذلك أنه من غير المحتمل أن ينتج سطحاً صحيحاً. أما أيّ من الطرائق المتبقية سوف تُستخدم، فهو راجع لنوع السطح الذي تحاول أن تنتجه، ونوع السطح الذي تحاول أن تنمذج، وتوزيع نقاط العينة. إن تفاصيل هذه الأساليب متاحة في مراجع أخرى (DeMers, 2000a)، لكنه من المفيد - من منظور النمذجة - أن تفحص شيئاً من الخصائص المتقدمة لهذه الطرائق ومجالات تطبيقها العامة.

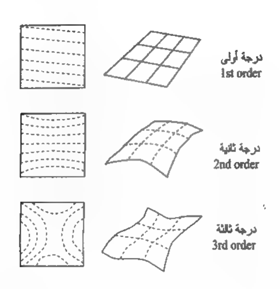
تفحص طريقة الاشتقاق بمعكوس المسافة الموزونة المسافةَ الخطّيّة بين نقاط العينة، وتوزن قيمة الإدراج على أساس معكوس هذه المسافة. والفكرة هي أن تلك القيم التي هي أقرب لبعضها من المحتمل أن تكون أكثر ارتباطاً مكانياً، وعليه ينبغي أن توفر أكثر القيم تمثيلاً للسطح من تلك التي على مسافة أبعد. عادةً ما يفترض اختيار هذه الطريقة، أن المتغير المكاني - مثل، السطح الطبوغرافي - هو في الحقيقة متغير ذو ارتباط مكاني (Spatially autocorrelated). وهناك العديد من الخيارات المتاحة لوزن معكوس المسافة، حسب البرنامج الذي تستخدمه، وهي تشمل الانتقال من التحكم أو التأثير المحلي إلى الشمولي عن طريق تعديل وظيفة القوة (Power). فتنتج قيم القوة الأكبر نفوذاً متدنياً للنقاط المحيطة، وسيكون السطح - عندئذ - أقل سلاسة. هذه الطريقة مفيدة متى ما كنت تبحث عن تفصيل (مكاني) أكبر. كما يوجد خيارات أخرى، وتشمل: ضبط أعداد نقاط التحكم لعمليّة الاشتقاق؛ ومواقعها؛ وطرائق اختيارها (Hodgson and Gaile, 1999; Philip and Watson, 1982; Watson and Philip, 1985).

تقوم طريقة الكريغنغ على فكرة نظرية المتغير المؤَقلَم (Regionalized variable)، التي تفترض أن التغير المكاني للقيم الإحصائيّة في السطح يكون متجانساً إحصائياً من البداية إلى النهائيّة. تستخدم كل طريقة من طرائق الكريغنغ وظيفة رياضيّة لنمذجة التنوعات أو الاختلافات المكانيّة في قيم (Z) داخل عينة من النقاط. ويُستخدم رسم بياني يُطلق عليه منحنى التباين النصفي (Semivariogram) وذلك لتسجيل وتقييم العلاقة بين المسافة بين النقاط والاختلاف في قيم (Z). هناك أشكال كثيرة للكريغنغ، لكن يمكن ضمها بشكل عام في مجموعات تحت مسمى نماذج، وتشمل: النماذج الكروية؛ والدائرية؛ والأُسيّة؛ والغاوسيّة (Gaussian)؛ والخطّيّة. وإذا كان هناك افتراضاً بأن الاختلاف المكاني في بيانات السطح الإحصائي يحتوي على بعض الاتجاهات المحليّة (Local trends)، أو عنصر تركيبي (Structural component)، فيمكن – عندئذ – استخدام مجموعة عامة من طرائق الكريغنغ تُسمى بالكريغنغ العام (Universal Kriging). وتفترض هذه الطرائق العامة بأن هناك ثلاثة عناصر تعمل في وقت واحد – عنصر تركيبي (نزعة أو ميل باتجاه معين Drift) الذي يمثّل الشكل العام للسطح، وعنصر عشوائي، لكنه مرتبط مكانياً (مثل، وعورة سطح)، وتشويش عشوائي (Random noise). وبمجرد أخذ العنصر التركيبي في الاعتبار في الكريغنغ العام، فإن الاختلاف أو التنوع المتبقي ما هو إلا مجرد وظيفة للمسافة، كما هو الحال مع الكريغنغ العادي (Ordinary Kriging).

يستخدم تحليل سطح الاتجاه العام (Trend surface) معادلة الانحدار متعددة الحدود لتُكيّف سطحاً من التربيعات الصغرى (Least-squares) على نقاط العينة. والغرض من سطح الاتجاه هو إظهار التغيرات العامة في سطح قيم (Z) بدلاً من التنبؤ بالقيم الفعليّة من مكان إلى آخر. وكلما زاد تعقيد تعدد الحدود، زاد تعقيد السطح المنتج من نموذج سطح الاتجاه. وعليه، فإن تعدد الحدود من الدرجة الأولى ينتج سطحاً مُكيّفاً من التربيعات الصغرى ملائماً لمستوى يمر بنقاط العينة (الشكل رقم ٤,٢١). أما الحدود من الدرجة الثانية، والثالثة، والأكثر تعقيداً، فتنتج سطحاً مكيفاً أكثر تعقيداً (الشكل رقم ٤,٢١). في الحقيقة، إن معادلات ما بعد الدرجة الثالثة تفضي إلى انتفاء الغرض من سطح الاتجاه، وتصبح من شدة تعقيدها عديمة الفائدة في التنبؤ بالاتجاهات العامة. ولأن سطوح الاتجاه تعد أكثر تعميماً من السطوح المنتجة بالأساليب الأخرى، ولأن هدفها الرئيس هو استخراج أفضل تكييف أو تمثيل لكامل السطح، فإنه من النادر أن تمر سطوح الاتجاه بقيم العينة الفعليّة.

يُعرَّف الانحدار (Slope) على أنه مقدار الارتفاع (البعد الرأسي) على مسافة معينة (البعد الأفقي). وسواء كان حساب الانحدار بالدرجات أو نسبة مئوية (الارتفاع / المسافة الأفقية x ١٠٠)، فإن الناتج هو مجموعة من القيم الشبكية التي يمكن استخدامها لمثل تلك العمليات التي تساعدنا في وظائفنا المتعلقة بمسافة التكلفة ومسارها. أما واجهة (أو اتجاهية) الانحدار (Aspect)، فهي ظاهرة ترتبط أساساً بالانحدار، فهي ببساطة تحدّد اتجاه الانحدار من خلال تحديد اتجاه المنحدر (Downslope direction) لمعدل الحد الأقصى للتغير (Maximum rate of change) في قيم

الخلايا الشبكية من كل خلية فردية إلى خلاياها المجاورة. يمكن أن تكون القيم الناتجة في شكل اتجاهات البوصلة، أو شكلاً من أشكال القيم الترميزية المُدمجة (Compact) تمثّل اتجاهات البوصلة. وغالباً ما يقترن استخدام الانحدار مع استخدام واجهة الانحدار عند النمذجة.



الشكل رقم (٤،٢١) سطوح الاتجاه العام. كلما كانت المعادلة متعددة الحدود أكثر تعقيداً في تحديد الاتجاه العام في السطح الإحصائي كان سطح الاتجاه نفسه أكثر تعقيداً. نرى، هنا، التغيير في درجات تعدد الحدود من الدرجة الأولى إلى الثانية وإلى الثالثة، وأثر ذلك على شكل سطح الاتجاه العام المُخرج.

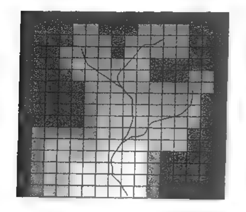
يعد تظليل الارتفاع (Hill shading)، والذي يسمى أحياناً بتحليل تظليل الارتفاع، طريقةً لحساب كمية الإضاءة الشمسية لسطح طبيعي مثل السطح الطوبوغرافي أو المباني. يُنظر إلى هذا التحليل عموماً على أنه ببساطة مجرد أداة استعراض (Visualization)، وهو بالتأكيد مفيد في هذا الصدد، لأنه يعزز المظهر البصري للسطح. كما أنه يبيّن المناطق التي قد تُظلل في العادة أو تكون أقل تعرضاً للاستكشاف المرئي (أو للرؤية البصرية). ومثلما قد تتوقع، فإن الخوارزميات المستخدمة لحساب الانحدار وواجهة الانحدار تستخدم لحساب مؤشر للعلاقة بين الانحدار وواجهته والذي بدوره يمكن استخدامه في إنتاج خرائط تضاريس مظللة. ولأغراض التحليل، فإن خوارزميات التظليل المتوفرة في نظم المعلومات الجغرافيّة الخلويّة المتقدمة تسمح بتحليل طول وقت الشمس وحدّتها في مكان معين. ستكون هذه القيم مفيدة للغاية إذا كنت، على سبيل المثال، تريد أن تحلل البيانات الخاصة بك لاختيار مواقع مناسبة لوضع الألواح الشمسية لتوليد الكهرباء.

الوظائف الهيدرولوجية (المائية) الشموليّة: بالرغم من أننا رأينا كيف يمكن بناء السطوح ومعالجتها - إلا أن هناك بعض القدرات الوظيفيّة التي تعد فريدة نسبياً عندما يتعلق الأمر بنمذجة المياه على سطح الأرض، حيث يكمن اهتمامنا الرئيس في حركة المياه السطحية عبر السطح الطوبوغرافي، معًا مع حركات الحطام، والملوثات، والمواد البيولوجية. هذه الأنواع من الوظائف مفيدة للهيدرولوجيين، والمخططين، والمهتمين ببيئة المظهر الطبيعي، ومجموعة كبيرة أخرى من المهتمين بهذه الحركات، سواء من أجل الأعمال التنظيرية أو التطبيقية منها. ويمكن أن يشمل ذلك على سبيل المثال، تقييم الفياضانات المحتملة وآثارها، وتقييم أحمال (كميات) التلوث من مصادر نقطية محدّدة أو غير نقطية (Non-point source) إلى الجداول المائية، والتنبؤ بتأثيرات المشاريع الإنشائية العملاقة، مثل السدود، على خصائص التدفق للجداول أو المجاري المائية. إن أحد المحدّدات الأساسية في تدفق المياه على السطح هو شكل التضاريس، وهذا يمكن نمذجته، في معظم الأحيان، باستخدام نماذج الارتفاع الرقميّة (DEMs) لتوفير هذه المعلومات. وتسمح لنا هذه الوظائف ببناء نماذج حدود حوض التصريف (خطوط تقسم المياه) (Watersheds) وشبكات المجاري المائية (Stream Networks)، وجميعها مصممة بحيث تظهر من أين ستبدأ المياه وأين ستصل.

لقد استخدمت في الجملة السابقة مصطلحي حدود حوض التصريف (Watersheds) والشبكات (Networks)، وكلا المصطلحين يحدّدان معاً نظام التصريف (Drainage System). فهذان العنصران هما، إذن، المنطقة أو المساحة التي ستتحرك عليها المياه، وشبكة المياه التي من خلالها ستنتقل المياه، على التوالي. فحوض التصريف (Drainage basin) أو حدود حوض التصريف (Watershed) هو العنصر الأول - أي المساحة أو المنطقة التي تتدفق عليها المياه إلى أكثر القنوات المائية تركزاً. أما المصطلحات الأخرى التي غالباً ما تطبق على هذا، فهي المستجمعات (Catchments)، والمنطقة المساهِمة (Contributing Area)؛ جنباً إلى جنب مع حوض التصريف (Drainage basin) وحدود حوض التصريف (Watershed)، وتُحدّد على أنها المساحة الإجمالية التي تسمح للمياه بالتدفق إلى المخرج أو نقطة المصب (Outlet or pour point). وتُعرّف نقطة المصب هذه بأنها أدنى نقطة على طول حوض التصريف. من المهم أن نتذكر هذا بحيث نكون قادرين على نمذجته بشكل فعال. كما أنه من المهم، أيضاً، أن نتذكر أن المناطق التي تقسّم القنوات المائية، وخطوط أو حدود تقسيم المياه، هي بالضرورة أعلى ارتفاعاً من الجداول أو المجاري المائية (الشكل رقم ٤,٢٢). وعندما ننمذج التدفقات داخل حوض تصريف المياه، علينا أن نتذكر أن الماء سوف يتحرك، في كثير من الأحيان، على شكل تدفق سطحي فوق الأرض (Overland) حتى يتوجه داخل شبكة المجاري المائية.

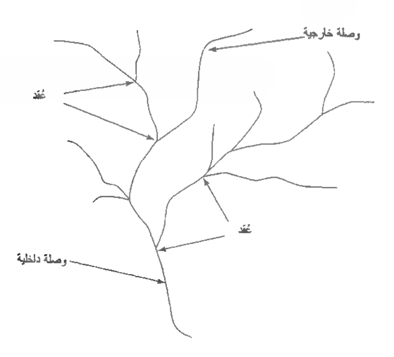
يمكن تشبيه الشبكة بشجرة يكون جذعها أدنى نقطة (المصب أو المخرج، في مثالنا). هناك أنواع عديدة من أشكال تفرّع الشبكات المائية، لكل واحدة منها آثار فريدة على خصائص التدفق. أقترح عليك الإطلاع على مرجع أساسي في الجغرافيا الطبيعية، أو مرجع في الجيومورفولوجيا الفيضية، لمعرفة المزيد من التفاصيل. سوف نستخدم في مثالنا التوضيحي نوعاً مألوفاً يسمى النمط الشجيري؛ لأنه يتفق بشكل أوثق مع تشبيهنا الشجري هنا. ففروع

الشجرة (القنوات أو المجاري المائية) تتقاطع أو ترتبط مع بعضها عند عقد أو مفاصل. أما الوصلات الخارجية فهي تلك التي لا تحتوي على روافد إضافية، في حين يستمر تفرّع الوصلات الداخلية (الشكل رقم ٤,٢٣).



مجاري مائية	
ارتفاع/قدم 0 - 50	
ارتفاع/قدم 51 - 100	
ارتفاع/قدم 101 - 150	
ارتفاع/قدم 151 - 200	
ارتفاع/قدم 201 - 250	
ارتفاع/قدم 251 - 300	

الشكل رقم (٤,٢٢) التمثيل الخلوي لحوض تصريف مجرى مائي. لاحظ كيف ان قيم المجرى أقل من قيم خطوط تقسيم المياه بين روافد المجرى.



الشكل رقم (٤,٢٣). شبكة المجاري الشجيرية. تتصل روافد المجرى (وصلات) ببعضها بواسطة عقد الروافد أو الوصلات الخارجية ليس لها روافد إضافية.

إن لخصائص شبكة المجاري المائية وحوض التصريف المصاحب آثاراً محدّدة على حركة المياه. وإذا تتذكر من مناقشتنا السابقة للانحدار وواجهة الانحدار في وظائف السطح الشمولية، نجد أنه من السهل نقل تلك الأفكار الأساسية إلى النمذجة الهيدرولوجية السطحية. فواجهة الانحدار، التي عُرّفت بأنها الزاوية الناتجة من أقصى معدل للتغير في الارتفاع من كل خلية إلى الخلايا المجاورة لها مباشرة (اتجاه الانحدار)، هي التي تحدّد اتجاه التدفق. في حين أن الانحدار، والمُعرّف بأنه أقصى معدل للتغير في الارتفاع من كل خلية إلى الخلايا المجاورة لها، سوف يحدّد، بدرجة كبيرة، سرعة وطاقة المياه المتدفقه نحو الأسفل. ينتج من الانحدارات الشديدة قوة أو طاقة تدفق أكبر، وقدرة أعلى للمجاري في التعرية أو الحت ونقل أحمال الرواسب.

ولأن الانحدارات ليست متماثلة، سواء على طول اتجاه التدفق أو عبره، فإنا بحاجة إلى دراسة أثر هذا التغير في الانحدار على الأنشطة النمذجية المحتملة. يتغير التقوس الجانبي (Profile curvature)، وهو التقوس أو التغير الذي يطرأ على الانحدار مع الاتجاه، من شكل مقعر إلى محدب. يسفر عن الجوانب المقعرة للانحدار، الموضحة من خلال الانحدار المنخفض على طول جزء من المجرى، خفضاً في سرعة المجرى، وانخفاضاً مصاحباً في الطاقة أو قوة الجريان، وهذا بدوره يؤدي إلى الحد من قدرة المجرى على نقل حمولة مواد الترسيب. وعلى هذا النحو، فإن الجوانب المقعرة ينتج منها إما تآكلاً أو حتاً منخفضاً (قليلاً)، وإما زيادة ترسيب، وإما كليهما. إن المهام النمذجية التي تتطلب، على سبيل المثال، تحديد المناطق التي يزيد فيها الإرساب نتيجةً للمجاري المرتبط جريانها بالسدود سوف تستخدم هذا المبدأ الأساسي. وعلى العكس من ذلك، فإن الجوانب المحدبة، المتسمة بشدة الانحدار محلياً، ينتج منها مجاري سريعة وقوية، وهذا بدوره يسبب تعرية (تآكل) وتقطيع تحاتي.

يُطلق على تقوس السطح المتعامد على اتجاه الانحدار بالتقوس الأفقي[٢] (Planform curvature)، وهذا يشير إلى المكان الذي يكون فيه جانب حوض التصريف أو المقطع الجانبي (Cross-section) محدباً أو مقعراً. تُظهر مقاطع المجاري الجانبية المقعرة عبر حوض التصريف تقارباً (تلاقٍ) في التدفق أو توجيهاً للتدفق. ينتج عن هذا، عادةً، تحديداً وتخندقاً، ممّا يؤدي في نهاية المطاف إلى تكوين أو نشوء الوادي. في حين تشير المقاطع الجانبية المحدبة عبر الحوض إلى حافات، وما يتصل بذلك من تدفق متباين التوزيع، حيث يكون التدفق موجه للأجزاء المقعرة (نحو الأسفل) من الحوض.

عادةً ما تستخدم بيانات نموذج الارتفاع الرقمي، وإن لم يكن ذلك دائماً، لنمذجة هيدرولوجية السطح؛ ذلك بسبب كلا من توفرها وكونها عموماً عند المقياس الذي عنده تكون مثل هذه النمذجة أكثر صلة وأهمية. تُعد نماذج الارتفاع الرقمي، مثلما وصفت في مكان آخر (DeMers, 2000a)، شبكة مُنشئة من عينة أو تمثيل خلوي لسطوح طبوغرافيّة متصلة لأجزاء من الكرة الأرضية. ورغم أن العديد يقبلون بالتمثيل الحقيقي للظواهر الطبوغرافيّة باستخدام هذه النماذج بشيء من الثقة - إلا أن هناك أمور ينبغي عليك أن تأخذها في الاعتبار قبل بدء النمذجة بهذه البيانات.

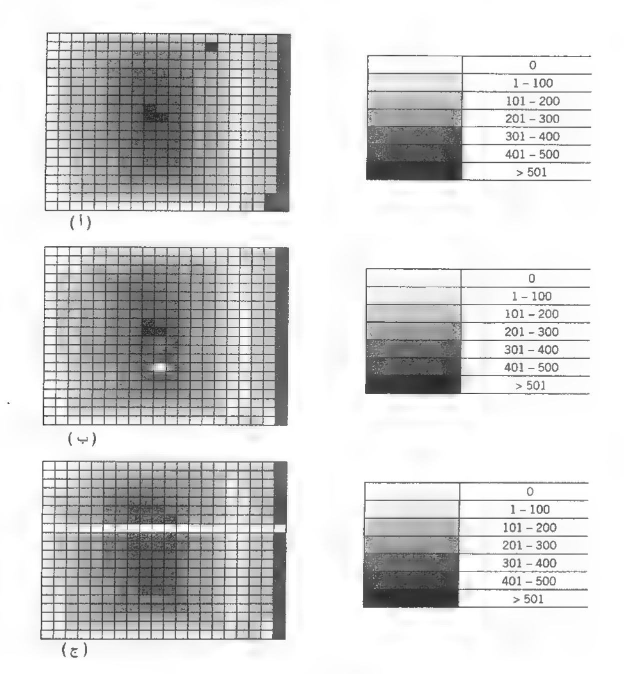
---

(٢) التغير في الانحدار مع المسافة في الاتجاه الأفقي. (المترجم)

أولاً، سوف يكون لدرجة الوضوح المكاني (Resolution) للنموذج أثراً كبيراً على درجة الوضوح الناتجة في انشطتك النمذجية. كما أنه، أيضاً، ليس بالضرورة صحيحاً أنه إذا كانت بيانات نموذج الارتفاع الرقمي ذات درجة وضوح أدق فإنك ستحصل بالتأكيد على صحة مكانيّة أعلى. كما أن البيانات ذات درجة وضوح أدق هي، أيضاً، أكثر حساسية لأنواع الخطأ الأخرى التي تسلل إلى البيانات أثناء إنشائها. هناك ثلاثة من أنواع الخطأ هذه، وتشمل: النتوءات أو الذُّرَى (Peaks)؛ والحفر (Pits)؛ والأخطاء المنتظمة. تتمثّل الذُّرَى في تلك القيم أو النتوءات غير المُفسَّرة والتي لا علاقة لها بظواهر السطح الفعليّة التي يُراد من نموذج الارتفاع الرقمي أن يمثّلها (الشكل رقم ٤,٢٤ أ). أما الحفر، أو الأحواض المنخفضة (Sinks)، فهي عكس الذُّرَى؛ ذلك أنها عبارة عن قيم منخفضة لا تفسير لها وليس لها علاقة بظروف السطح (الشكل رقم ٤,٢٤ ب). بعض الذُّرَى والحفر، بطبيعة الحال، هي تمثيلات صحيحة لملامح أو ظواهر سطح الأرض، لهذا من المهم أن تعرف منطقة دراستك قبل بدء العمل مع هذه البيانات. بعض هذه الأخطاء صغيرة ويمكن تصحيحها داخلياً، في حين أن البعض الآخر قد يتطلب أن تُعاد البيانات وتُبنى من جديد من قبل موفر البيانات. أما الأخطاء المنتظمة فغالباً ما تكون أسهل في الكشف؛ إذ أنها كثيراً ما تتميز بتحول مفاجئ في قيم الارتفاع بمجرد النظر إليها عبر الخريطة (تُسمى أحياناً بالتشريط – striping) (الشكل رقم ٤,٢٤ ج). وتكون هذه الأنواع من الأخطاء، في الغالب، نتيجة إزاحة أو قصور مرده أجهزة الإدخال، وهي أكثر وضوحاً مع البيانات العددية الكاملة (Integer) داخل المناطق المنبسطة، ومن ثم فإن إدراجها في قاعدة بيانات نظم المعلومات الجغرافيّة غير مقبول. ينبغي إعادة هذه البيانات لموفر البيانات للتصحيح أو إعادة إنشائها.

الآن وبعد أن أطّلعنا على مجموعة نموذجية من البيانات – أي نموذج الارتفاع الرقمي – وقد أصبح لدينا فهما للخصائص الأساسية لعمليات تصريف المياه السطحي، يمكننا أن نبدأ باستخدام نظم المعلومات الجغرافيّة الخلويّة لنمذجة خصائص السطح. ولأن المكونات التركيبية لأحواض التصريف المائي هي في المقام الأول وظيفة كلا من الانحدار وواجهة الانحدار، فإن تحديد اتجاه المنحدر الأكثر شدة هو مهمتنا الأساسية. يمكن أن نحدّد حدود الحوض، وشبكة المجاري، ومصبات المجاري متى ما عرفنا اتجاه التدفق (Flow direction) الخارج من كل خلية.

هناك عدة خطوات لاستخدام الوظائف الأساسية في نظام معلومات جغرافيّة خلوي نموذجي لتحديد أحواض تصريف المياه، وتقدير تراكم التدفق، ونمذجة طول التدفق داخل حوض التصريف. بدءاً بنموذج الارتفاع الرقمي الأساسي، نقوم أولا بتقييم الانحدار وواجهته لتحديد اتجاه تدفق الخلايا في شبكتنا. ثم نحدّد الأحواض أو الحفر المنخفضة (Sinks)، إن وجدت. فإذا وُجدت هذه الحفر، لا بد من ملئها حتى لا تتدخل في عمليّة نمذجة التدفق الإجمالية فتعيقها. يمكن تنفيذ عمليّة الملء هذه باستخدام طرائق تسوية متوسطية (Averaging) مثل تلك المستخدمة في إزالة القيم النقطية الناقصة في الاستشعار عن بعد (Jensen, 2000). ومن أبسط الطرائق المتبعة في ذلك هو ببساطة اختيار الارتفاع الأدنى على طول حدود مستجمع أو حوض تصريف المياه. ولعلك تتذكر بأننا سمّينا هذا بنقطة المصب.



الشكل رقم (٤,٢٤). أخطاء نموذج الارتفاع الرقمي (DEM). تظهر عدد من الأخطاء في نماذج الارتفاع الرقمي والتي على النمذج أن يكون على دراية بها. تشمل هذه الأخطاء (أ) قيم عالية غير متوقعة، تسمى ذُرى (Peaks)؛ و(ب) قيم منخفضة غير متوقعة تسمى حفر (Pits)؛ و(ج) أخطاء منتظمة مثل التشريط (Striping)، حيث يكون هناك خطوط كاملة من البيانات إما مفقودة، وإما أنه من الواضح أنها غير صحيحة.

بعد ملء الحفر، لدينا ثلاثة أنواع أساسية من الوظائف التي يمكن تطبيقها على شبكتنا. إن التدفق المتراكم هو شكل من أشكال الوزن التراكمي لجميع خلايا الشبكة المتدفقة إلى كل خلية من خلايا المنحدر (Downslope) في الشبكة. تحدّد وظائف حوض تصريف المياه المنطقة المساهمة (الحوض) للتدفق الإجمالي. وأخيراً، تقيّم وظائف شبكة المجاري عدد الخلايا ورتب المجاري وذلك لكل شبكة المجاري المائية. سنقوم بدراسة اتجاه التدفق (Flow direction)، وتراكم التدفق (Flow accummulation)، وحوض تصريف المياه، ووظائف الشبكة المائية كل على انفراد.

يعد اتجاه التدفق عامل رئيس للكثير من وظائف السطح الهيدرولوجية المتبقية. يستلزم هذا حساب اتجاه التدفق لكل خلية في الشبكة بأكملها. وباستخدام سطح معين (غالباً ما يكون نموذج بيانات رقمي) في شكل شبكة مدخلة، فإن البرنامج يخرج شبكة تبيّن اتجاه التدفق الخارج من كل خلية. يقوم البرنامج إبتداءً من عند كل خلية شبكية بالبحث في الخلايا الشبكية الثماني المحيطة ويقيّم اتجاه المنحدر الأقصى (Maximum drop)، وذلك باستخدام المعادلة التالية:

$$Maximum\ drop = \frac{\Delta z}{d}$$

حيث إن Δz التغير في القيمة الرأسية و d المسافة. وكما هو الحال في وظائف التدفق السابقة، عادةً ما تقاس المسافة بين مراكز كل خلايا الشبكة. تكون المسافة بين خليتين متعامدتين ١؛ وبين خليتين متقاطرتين تكون المسافة (١,٤١٤٢١٦). فإذا كان المنحدر الرأسي، داخل الخلايا الثماني المجاورة مباشرة، بنفس المقدار أو مطابقاً لجميع الخلايا، فإن البرنامج يقوم بتوسيع الجوار حتى يجد الانحدار الأشد. وما أن يوجد هذا المنحدر، يتم ترميز اتجاه تدفق الخلية تبعا لمنشأه أو أصله بأي قيمة يستخدمها برنامجك ليبيّن هذا الاتجاه. على سبيل المثال، يمكنك استخدام طريقة ترميز مثل تلك المستخدمة في برنامج GRID من إسري ESRI (الشكل رقم ٤,٢٥).

إذا توفرت الشروط التالية أثناء تقييم اتجاه التدفق فإنها تدل على وجود الحفر أو المناطق المنخفضة التي ليس لها اتجاه للتدفق:

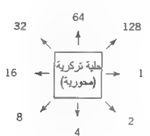
١- إذا كانت جميع الخلايا المجاورة أعلى من الخلية قيد المعالجة.

٢- إذا وُجد خليتان تتدفق كل منهما إلى الأخرى.

٣- إذا كان للخلية نفس التغير في قيمة z في اتجاهات متعددة.

وفي جميع هذه الشروط، فإن قيمة الخلية في شبكة اتجاه التدفق المُخرجة كثيراً ما تُحسب على أنها مجموع تلك الاتجاهات. فعلى سبيل المثال، وباستخدام مخطط أو طريقة الترميز المُبيّنة في الشكل رقم (٤,٢٥)، إذا كان التغير في

قيمة Z هو نفسه لكل من اليمين (رمز الاتجاه هنا = ١) والأسفل (الترميز = ٤)، فإن اتجاه التدفق النتائج يصبح (١ + ٤)، أو قيمة نهائيّة تساوي (٥). إن أكثر الطرائق شيوعاً في التخلص من الحفر يكون من خلال ملء كل واحدة منها بأقل قيمة خلوية تقع على حدود حوض تصريف المياه. بعض البرامج لديها خوارزميات محدّدة للقيام بذلك، لذا تَحقّق من دليل المستخدم في برنامجك لتحديد إمكانية توفرها.



الشكل رقم (٤،٢٥) طريقة ترميز الاتجاه في نظام ESRI يستخدم برنامج GRID المقدم من معهد بحوث النظم البيئية ESRI طريقة لترميز الاتجاه لعملياته الشمولية، حيث تبدأ الطريقة باتجاه حركة عقرب الساعة إبتداءً بقيمة (١) لتشير إلى الشرق. لاحظ أن القيم تتضاعف مع حركتك باتجاه عقرب الساعة. هذا يساعد في جعل عمليّة فصل المُتجه الاتجاهي أكثر سهولة من الطريقة البسيطة (٠ إلى ٨).

ومرة أخرى، وكما هو الحال مع خوارزميات التراكم الأخرى، فلقد رأينا أن تراكم التدفق هو الوزن المتراكم لكل الخلايا التي تتدفق إلى كل خلية تالية في المنحدر في الشبكة المُخرجة. كما يمكن تطبيق الأوزان على خلايا الشبكة بحيث تمثّل مُدخَلاً إضافياً محلياً للتساقط (أمطار)، أو أي عامل آخر يسهم في تراكم التدفق داخل حوض التصريف. وإذا لم يكن هناك عمليّة إسناد لمثل هذه الأوزان، فيمكن - عندئذ - إسناد قيمة (١) إلى كل خلية بالشبكة، وسيكون التراكم النهائي عبارة عن عدد الخلايا التي تتدفق إلى كل خلية متعاقبة.

انظر إلى الشكل رقم (٤،٢٦) لمثالين بيانيّين لنموذج تراكم التدفق، مرة غير موزون (أ) ومرة موزون (ب). وسواء كان النموذج موزونا أو غير موزون، فإن المناطق الأكثر تدفقاً يمكن استخدامها بسهولة لتحديد القنوات أو المجاري المائية (الشكل رقم ٤،٢٧). تعني مناطق التدفق التي تحتوي على قيمة صفر، بطبيعة الحال، أنه لا يوجد تجميع للمياه، والتي من شأنها أن تدل على وجود حافات. ويمكن أن تُستخدم منهجيّة تراكم التدفق، أيضاً، لنمذجة كمية الهطول أو التساقط التي تقع على خلايا أعالي المنحدرات في حوض التصريف، أو لتمثيل كمية الأمطار التي قد تتدفق من خلية إلى خلية. تتجاهل هذه الاستخدامات، بطبيعة الحال، تسرب المياه، وصدّها (بالاعتراض)، والبخر والنتح.

0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	1	1	1	1	1	1	3	0
0	3	1	1	1	1	5	1	0
0	1	5	1	1	7	1	1	0
0	1	1	7	9	1	1	1	0
0	1	1	1	16	1	1	1	0
0	1	1	1	18	1	1	1	0
0	1	1	1	20	1	1	1	0
0	1	1	1	24	1	1	1	0

(أ)

0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	2	2	2	2	2	2	6	0
0	6	2	2	2	2	10	2	0
0	2	10	2	2	14	2	2	0
0	2	2	14	18	2	2	2	0
0	2	2	2	32	2	2	2	0
0	2	2	2	36	2	2	2	0
0	2	2	2	40	2	2	2	0
0	2	2	2	48	2	2	2	0

(ب)

الشكل رقم (٤,٢٦) وظيفة التدفق المتراكم الشمولية. هناك طريقتان لإجراء التدفق المتراكم: (أ) غير الموزونة و(ب) الموزونة. تسمح الطرائق التي توزن التدفق بإضافة مدخلاً للتساقط المحلي.

المصفوفة المُدخلة

المصفوفة المُخرجة

↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↙
↘	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↙	←
→	↘	↓	↓	↓	↓	↙	←	←
→	→	↘	↓	↓	↙	←	←	←
→	→	→	↘	↓	↙	←	←	←
→	→	→	↘	↓	↙	←	←	←
→	→	→	↘	↓	↙	←	←	←
→	→	→	↘	↓	↙	←	←	←
→	→	→	→	↓	←	←	←	←

الشكل رقم (٤,٢٧). التدفق المتراكم هذا مثال بياني لاتجاه التدفق الناتج من حساب التدفق المتراكم. تجعلان هاتين الطريقتين (الموزونة وغير الموزونة) عمليّة عزل أنماط أحواض تصريف المجاري المائية عمليّة سهلة نسبياً.

من الممكن - وكما ذُكر سابقاً - أن نأخذ بتعاريفنا التي تبيّن ما هو حوض تصريف المياه ثم نستخدم القدرات النمذجية بنظام المعلومات الجغرافيّة الخلوي الخاص بنا لنحدّد هذا الحوض على شبكتنا الخلويّة. وتعد عمليّة رسم حدود أحواض التصريف خطوة ضرورية لجميع نمذجة السطح الهيدرولوجية تقريباً. كما يمكن جمع هذه الحدود، على سبيل المثال، مع متغيرات التربة و معلومات الغطاء الأرضي لتطوير نماذج لفقدان الرواسب أو ذروة الفيضان على مستوى الحوض بأكمله. لقد تداول الباحثون هذا المفهوم منذ فترة (انظر على سبيل المثال، Band, 1989a-c, 1993) لكنه الآن أكثر رسوخاً في العديد من حزم برامج نظم المعلومات الجغرافيّة الخلويّة. نستخدم

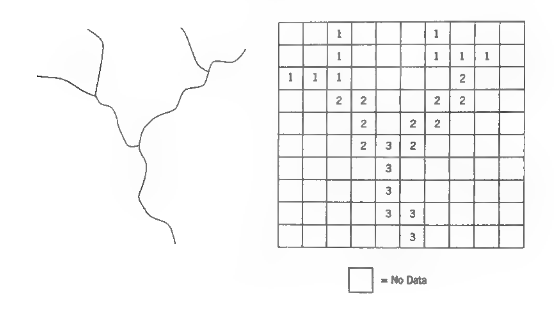
لاتجاه التدفق شبكة كأحد المُدخلات الرئيسة لتحديد المنطقة المساهمة (Contributing area). كما إننا نحتاج إلى أدنى نقطة في كل حوض تصريف مياه داخل الشبكة. لعلك تتذكر بأننا أطلقنا على هذه النقاط بنقاط المصب، وينبغي أن يكون لها القدرة في اختيارها بشكل تفاعلي. ومن خلال جعل طبقة تراكم التدفق طبقة مرجعية أو خلفية، فإنها يمكن أن تُستخدم بفعالية لتشير إلى المواقع المحتملة لنقاط المصب، وسوف يضمن هذا، أيضاً، اختيار نقاط المصب لأجزاء المجاري الرئيسة بدلاً من الروافد الثانوية. كما سينتج من اختيار الروافد الثانوية تحديداً لحدود حوض تصريف المياه، والذي غالباً ما يكون أصغر بكثير ممّا هو عليه في الواقع.

وبالإضافة إلى الخصائص المساحية لحوض التصريف نفسه، ينبغي، أيضاً، أن يكون لدينا القدرة ليس فقط على تحديد مواقع قنوات المجاري باستخدام تراكم التدفق - كما شاهدنا ذلك أعلاه - لكن، أيضاً، القدرة على تحديد خصائص شبكة المجاري نفسها (Jenson and Domingue, 1988; Mark, 1988; Tarboton et al., 1991). ولعل أكبر الطرائق فاعليّةً في عمل ذلك، استخدام قيمة مدى أو عتبة حدية (Thresholding limit) بسيطة داخل معادلة جبرية خرائطية بحيث إنه متى ما كان للمجاري عدد معين من الخلايا تُظهِر التدفق إليها - ولنقل، ١٠٠ خلية - فإن ذلك سوف يكون مؤشراً على وجود المجاري ضمن شبكة، ومن ثم يُخصص لها قيمة مُخرجة تساوي (١)، في حين أن جميع الخلايا المتبقية سيُخصص لها قيمة تساوي (٠). إضافة إلى ذلك، تسمح لنا هذه التحديدات بتشخيص عناصر شبكة المجاري، وإسناد معرّفات ترميزية فريدة (ID) لها، وتسمح، أيضاً، بإخراج النتائج النهائيّة على شكل طبقة (تغطية) خطيّة في نظام المعلومات الجغرافيّة.

وتعد طريقة ترتيب المجاري من بين المنهجيات الأكثر شيوعاً لتحديد خصائص شبكات المجاري، والتي تضع أو تصنف المجاري في رتب معينة في الشبكة. فترتيب المجاري هو وسيلة لإسناد قيم عددية للمجاري على أساس مواضعها في الشبكة، ويتم ذلك عن طريق تحديد عدد الروافد المتفرعة من كل مجرى رئيس. كما يمكن استنتاج معلومات، في كثير من الأحيان، من هذه التراتيب. فعلى سبيل المثال، تميل مجاري الرتب الدنيا في الغالب إلى أن يهيمن عليها تدفق سطحي وتدفق أقل تركيزاً باتجاه المنابع. في الحقيقة، تستحوذ مجاري الرتبة الأولى (تلك التي ليس لها روافد) تقريباً على معظم التدفق السطحي الذي ليس له تدفق مركّز في أعالي هذه المجاري (باتجاه المنابع). وكنتيجة مباشرة لهذه الحالة، فإنه من الأرجح أن تكون هذه المجاري عرضة للتلوث متعدد المصدر، مثلما قد يتوقع المرء من التدفق السطحي للمواد الكيميائية الزراعية. قد تستفيد هذه المجاري من النطاقات الضفّيّة للمجاري أكثر من القنوات أو المجاري ذات الرتبة الأعلى (معهد بحوث النظم البيئيّة، ١٩٩٤ ESRI-).

هناك عدة طرائق لترتيب المجاري، كل منها يرتب المجاري المتفرعة بطريقة مختلفة. وتعد طريقة إسترالر(Strahler, 1957) وطريقة شريف (Shreve, 1966) أكثر الطرائق شهرة في هذا المجال، بل إن معظم الطرائق الأخرى لترتيب المجاري مشتقة من هاتين الطريقتين. وكل من هذين النوعين من طرائق ترتيب المجاري يبدأ بإسناد

منزلة أو رتبة قدرها (١) لجميع الروابط أو الوصلات الخارجية. ويعبارة أخرى، تُعتبر هذه الوصلات مجاري من الرتبة الأولى، ويُخصّص لها قيمة (١)، كرمز مُعرِّف (ID). تزيد طريقة سترالر، وهي ربما الطريقة المستخدمة الأكثر شيوعاً، رتبة المجرى متى ما عُثر على أي وصلة أو رابط أثناء البحث. على سبيل المثال، ينتج من تقاطع مجريين من الرتبة الأولى (مجريان بدون روافد) وصلةً من الرتبة الثانية (يُخصص لها قيمة ٢ كرمز تعريفي) وينتج تقاطع مجريين من الرتبة الثانية وصلةً من الرتبة الثالثة (يُخصص لها قيمة ٣)؛ يستمر هذا حتى يتحدّد جذع المجرى في شكل وصلة نهائيّة (الشكل رقم ٤,٢٨). لكن تتمثّل مشكلة هذه الطريقة بشكل رئيس في أن الرتب تتزايد فقط عند تقاطعات أو تلاقي الرتب المتماثلة. فعلى سبيل المثال، لا ينتج من تقاطع مجاري الرتب الأولى مع مجاري الرتب الثانية مجاري أو وصلات من الرتب الثالثة، إذ بدلاً من ذلك، تُبقي هذه الطريقة على الرتبة الأعلى للوصلة التي أخذت أعلى رتبة. وكنتيجة لذلك، فإن طريقة إسترالر لا تأخذ في الاعتبار دائماً جميع الوصلات الموجودة في شبكة التصريف، كما أنها، أيضاً، حساسة جدا لإضافة الوصلات أو إلغائها في الشبكة.



الشكل رقم (٤,٢٨). طريقة إسترالر لحساب نسبة التفرع في نظام المعلومات الجغرافيّة الخلوي.

تأخذ الطريقة البديلة (طريقة شريف) في الاعتبار جميع الوصلات في الشبكة. وتخصص هذه الطريقة -كما هو الحال في طريقة إسترالر- الرتبة الأولى للوصلات الخارجية. لكن، وخلافاً لطريقة إسترالر، تلحق هذه الطريقة الوصلات بعضها ببعض بشكل جمعي. فعلى سبيل المثال، ينتج من تقاطع مجريين من الرتبة الأولى مجرىً من الرتبة الثانية (١ + ١)، وتقاطع الأولى والثانية ينتج مجرىً من الرتبة الثالثة (١ + ٢)، وينتج من تقاطع الرتبة الثانية مع

الثالثة مجرىً من الرتبة الخامسة (٢ + ٣) (الشكل رقم ٤,٢٩). ستلاحظ من فحص الشكل رقم (٤,٢٩) أن أعلى عدد وصل إلى (٧)، وهذا هو عدد الوصلات العليا تجاه منابع المجاري - أي أنه عدد المجاري التي ترتبط بجذع المجرى. ولهذا السبب، فإن الأعداد المرتبطة بطريقة شريف تُسمى بمقادير (Magnitudes)، بدلاً من أعداد ترتيبية.

	1			1	1				1				1
	1	1		1					1			1	1
		1	2	1					1	1	2	1	
			2	2						2	2		
1	1			2	2				2	2		1	1
	1	1	1		2			2	2			1	
			1	1	3			2			2	1	
					3	5	2	2			2	1	1
						5				2	2		
						5	5	2	2	2			
							7						
							7	7					
								7					
								7					

☐ = No Data

الشكل رقم (٤,٢٩). طريقة شريف لحساب نسبة التفرع في نظام المعلومات الجغرافية الخلوي.

وظائف المياه الجوفية الشموليّة: لعل من بين أعقد القدرات النمذجية في نظم المعلومات الجغرافيّة الخلويّة، تلك المتصلة بنمذجة التشتت (Dispersion) والتأفّق - الانتقال الأفقي- (Advection). توفر بعض البرامج مجموعة من الخوارزميات خاصة بهذه القدرات. وبدلاً من الخوض في مناقشة مطولة لجميع المعادلات، والفروق الدقيقة، والتفاصيل الدقيقة لوظائف المياه الجوفية، سأقدم مدخلاً بسيطاً جداً واقترح بعض المراجع المتعلقة بها. هناك مناقشة كاملة لنمذجة التأفّق والتشتت متوفرة في مرجع توكس (Tauxe, 1994). وتستخدم هذه المنهجيّة ثلاثة عناصر أساسية. الأول، التدفق الإنفاذي - المسامي- (Darcian flow)، ويقوم على سرعة تدفق المياه الجوفية واتجاهها الناجمين عن القابلية المسامية، وعلى درجة الميل أو معدل الانحدار (Gradient) (التغيير الرأسي لكل وحدة طول في اتجاه تدفق في طبقة مياه جوفية موحدة الخواص)، وعلى خصائص التوصيل الهيدرولوجية للتكوينات الجيولوجية. هذا، بالطبع، تبسيط. أما النتيجة النهائيّة لحسابات هذا النوع من التدفق فهي شبكة معروفة بإسم حقل أو مجال قوة التدفق. أما العنصر الثاني فيقوم بنمذجة مسار الحركة من خلال هذا الحقل من نقطة مصدر معينة. ويأخذ هذا،

عادةً، مُخرجاً في شكل نموذج تنبؤي على أساس التنبؤ المستقبلي لمواقع جسيمات افتراضية ضمن السائل (المياه). إن العمليّة، هنا، مبنيّة على الاشتقاق من خلايا الجوار الأقرب وتشبه الإجراءات الموجودة في مرجع كونيكاو وبريديهوفت (Konikow and Bredehoeft, 1978). وأخيراً، العنصر الثالث ويقوم على مفهوم متعلق بالتشتت الغاوسي (Gaussian dispersion) ويتصل أساساً بحركة المواد المتحللة داخل السوائل الناقلة. وهذا المفهوم يستند إلى آليتين متزامنتين؛ الانتقال الأفقي (التأفق)، وتشتت القوى المائية. إن تشتت القوى المائية هو عمليّة مزج المواد القابلة للذوبان (العنصر المذاب) مع المذيّبات (السوائل الناقلة) داخل مساحات المسام الموجودة في طبقة المياه الجوفية. أما الانتقال الأفقي فهو النقل السلبي (غير النشط) للعنصر المذاب داخل السائل. إن الفرضية في عنصر التشتت الغاوسي في النموذج هي أن تركيز المواد في السائل يكون تركيزاً متماثلاً في جميع أنحاء العمق.

الوظائف الشموليّة متعددة المتغير: هذه الوظائف ليست وظائف بالمعنى الحقيقي للوظائف؛ بل هي مجموعة فرعيّة من التقنيات الإحصائيّة تهدف إلى استكشاف العلاقات المعقدة بين كثير من المتغيرات المُدخلة، وبخاصة العلاقات التي يصعب ملاحظتها بسهولة. يمكن أن تكون هذه الوظائف الإحصائيّة طرائق وصفيّة بسيطة مثل المضلع التكراري ورسم مخطط التبعثر[٣] (Scattergram)، وتركيب المرئية أو الخريطة، وغير ذلك من طرائق عرض البيانات. أو أنها يمكن أن تكون طرائق إحصائية تنبّؤيّة واستنتاجية مثل الانحدار، وتحليل التكتل، وطرائق التصنيف المُراقب وغير المُراقب، وتحليل المكونات الرئيسة. تتراوح قدرات هذه الوظائف الإحصائيّة، حسب نظامك الخلوي المستخدم، من البرامج الحاسوبية المجهزة مسبقاً لهذا الغرض، إلى المزيد من الإجراءات الأولية التي على أساسها يمكن تركيب إجراءات إحصائية أكثر تقدماً، وإلى البرامج ذات القدرات المحدودة نسبياً لهذه العمليات (متعددة المتغير) لكنها في نفس الوقت يمكن ربطها مع حزم براجمية إحصائية. سوف نبحث في تحليل المتغيرات المتعددة بتفصيل أكثر في وقت لاحق؛ لكني سوف أقدم أولاً مناقشة وجيزة لتوضيح القدرات النمذجية الممكنة، وبيان السياق الذي توجد فيه مثل هذه النمذجة.

نحتاج أولاً إلى دراسة الفرق بين طرائق أو تقنيات نظم المعلومات الجغرافيّة أحادية المتغير ومتعددة المتغير. يمكن أن تكون الطريقة أحادية المتغير عبارة عن تحديد المناطق - مثلما رأينا في الوظائف النطاقيّة؛ فيمكن، على سبيل المثال، أن تُطبق هذه الطريقة لتحديد جميع خلايا الشبكة التي تشترك في قيمة واحدة (مرة أخرى، وظيفية نطاقيّة)، مثل: جميع خلايا الشبكة المشتركة في مدى معين من قيم الارتفاع (أو الانحدار)، بحيث يمكن أن تبيّن لنا هذه المنطقة، على سبيل المثال، أين يمكن زراعة محاصيل معينة بشكل فعال. وفي المقابل، قد تضم طريقة متعددة المتغير واجهة الانحدار ليس لعزل المناطق التي لها قيمة انحدار ذات فائدة خاصة فقط بل، أيضاً، المناطق التي يمكن أن تكون مواجهة للشمس لغرض نمو أحسن للنباتات. وقد تشمل، أيضاً، المسافات من الطرق، ومتغيرات التربة،

(٣) رسم بياني مكون من محورين يبين العلاقة بين قيم متغيرين بنشر أو تجميع نقاط تكون إحداثياتها أزواج القيم المقابلة لحالات محددة مختلفة. (المترجم)

وتقسيمات الأراضي، ومجموعة كبيرة من المتغيرات الأخرى. إحدى المنهجيات المتبعة لمثل هذا النموذج متعدد المتغيرات قد تكون من خلال عمل سلسلة من الإجراءات لعزل كل العوامل الهامة، ثم تنفيذ بعض عمليات المطابقة. وقد تتمثّل الطريقة الإحصائيّة الأكثر تقنيةً في هذا المجال في تنفيذ تحليل التكتل (Cluster Analysis) الذي له القدرة الفعالة في الجمع بين جميع العوامل بطريقة إحصائية على نحو يمكن التحقق منه. وستكون النتيجة عبارة عن نموذج يبيّن أفضل المواقع لمحاصيل معينة. هذه الأمثلة وغيرها تدل على قوة الوظائف متعددة المتغير داخل نظام المعلومات الجغرافيّة.

هنا، بعض الأمثلة التي تبيّن كيف يمكن استخدام الوظائف متعددة المتغير لاستكشاف العلاقات المكانيّة فيما بين الشبكات، وتوقع الظروف المستقبلية المحتملة، وإجراء تراصف طبقي تضاريسي (تقسيم مظاهر السطح)، وحتى إجراء تحليلات للسلاسل الزمنية. فلنفترض، على سبيل المثال، أن لديك عينة كبيرة من البيانات لعدد من الطيور الداخلية الموجودة ضمن مساحة متفرقة لغابة مطرية - لنقل، مساحة لغابة مطرية ذات رقع كبيرة محدّدة المعالم. يمكن استخدام نموذج الانحدار الخطي، في هذه الحالة، ليبيّن العدد المحتمل من الأنواع - الأجناس - الداخلية في جميع أحجام رقع الغابة المطرية ضمن الشبكة. ويمكن، بطبيعة الحال، تطبيق النماذج غير الخطّيّة، ونماذج الانحدار المتعدد، أيضاً، في الحالات المعقدة.

وثمة شكل آخر من النمذجة التنبؤيّة يقوم على وجود أو غياب البيانات[٤]، يسمى نموذج الانحدار اللوجستي (Logistic regression model)، والذي أثبت فائدته في تحليل المواقع الفعليّة للسناجب (Pereira and Duckstein, 1993)، وذلك عن طريق مقارنة هذه المواقع مع الخصائص البيئيّة. إن هذا الأسلوب يتطلب أن تكون على علم بالظروف البيئيّة عند عينة من المواقع التي يوجد فيها حيوان معين، أو نبات، أو حتى جانٍ. ويتطلب ذلك، أيضاً، أن يكون لديك بالمثل مجموعة من المواقع التي شملتها العينة حيث لا يوجد فيها المخلوق أو الكائن. تستطيع بهذه المواقع، أن تتوقع احتمالية العثور على كل واحد منها على أساس المستوى الذي تحققت عنده الظروف أو الشروط البيئيّة.

ولعل أمثلة الاستشعار عن بعد تعد الأكثر شيوعاً في توضيح فكرة استخدام تحليل المتغيرات المتعددة للتصنيف. يتطلب التصنيف المُراقب، مثلاً، من المستخدم أن يختار مجموعة من القيم المعروفة، ولنقل للغطاء الأرضي، بوصفها قيم ملاحظة أو مرصودة من خلال بيانات الاستشعار عن بعد متعددة النطاقات. بعد اختيار عدد من خلايا الشبكة (بكسلات، في الاستشعار عن بعد) التي من المعروف أنها تمثّل قيم الانعكاس لخصائص أنواع الغطاء الأرضي مثل المياه، والمحاصيل البقلية، والغابات، والمناطق الحضريّة، يمكننا - بعدئذ - أن نقارن إحصائياً قيم الانعكاس هذه بالبكسلات غير المصنفة في المرئية. وبهذه الطريقة، يمكنك أن تصنف ما تبقّى من المرئية، ممّا ينتج منه خريطة (في شكل صورة، في هذه الحالة) للغطاء الأرضي.

---

(٤) موجود (١) غير موجود (٠). (المترجم)

كما أن طرائق أو تقنيات التصنيف غير المُراقب، تُطبّق في أغلب الأحيان (ولكن ليس حصراً) على بيانات الاستشعار عن بعد، كما يمكن أن تُطبّق، أيضاً، في بيئة متعددة المتغيرات. ومن خلال مقارنة العلاقات، على سبيل المثال، بين الانحدار، وواجة الانحدار، والسطوع الشمسي، والمقطع الجانبي، ومتغيرات أخرى، يمكننا استخدام خوارزميات التكتل لوضع البيانات التي عادةً ما تكون متفرقة في مجموعات منطقيّة أو تصنيفات. وهذا كثيراً ما يتم من خلال اختيار قيم بَذرية بشكل عشوائي، قبل معرفة ما تمثله، في محاولة للتوصل إلى مجموعات مماثلة من تراكيب الخلايا الشبكية. يماثل هذا العمل الإحصائي عمليّة التفسير اللاحقة للصور الجوية - فكرة إنشاء فئات متشابهة في درجة اللون، والنسيج، وهلمّ جرّاً، ثم وصفها فيما بعد.

ما بعد الجبر الخرائطي

على الرغم من أننا رأينا أن الجبر الخرائطي يتمتع بقدرة عظيمة - إلا أن هناك أربعة دروس إضافية أريد أن أتركك معها. الأول، وهو أنه- وكما هو الحال تماما مع أي لغة (حاسوبية أو غير ذلك) - فإن معرفة كل الكلمات، وما تعنيه، وطريقة بناء الجملة لا تصنع وحدها منمذجاً جيداً. سوف توفر العديد من الكتب في البرمجة الحاسوبية بلغة فيجول بيسك، وسي ++، أو أي لغة أخرى، قائمةً من الأوامر الجاهزة، بالإضافة إلى كيفيّة وضعها مع بعضها. ومع ذلك، فمعرفة فقط كل الكلمات في القاموس، ومعانيها، وتراكيبها، لا يعني أنك ستكون قادراً على العمل من ذلك أفضل الروايات مبيعاً، وكذا الحال في البرمجة الحاسوبية، فلن يعني ذلك أنك ستكون قادراً على تصميم برامج حاسوبية مفيدة، خصوصاً المعقدة منها. وبطبيعة الحال، ينطبق الشيء ذاته على اللغات ذات المستوى الأعلى مثل الجبر الخرائطي.

والدرس الثاني هو أنه، ومثلما هو الحال في اللغة العادية، من بين أفضل السبل لتعلّم الجبر الخرائطي هو من خلال الأمثلة. سوف ندرس، فيما بعد في هذا الكتاب، بعض الدراسات المنشورة المتعلقة بنماذج نظم المعلومات الجغرافيّة التي أنشأها الآخرون. سنقوم بدراسة ما قدمه المؤلفون من المنهجيات، والتصميمات، والنجاحات والإخفاقات، وفي بعض الحالات، سننظر حتى في أجزاء من تراكيبهم الجبريّة الخرائطيّة. هذا سوف يبيّن لك كيف قام الآخرون بالنمذجة ضمن بيئات مختلفة. ومن المأمول أن بعض هذه النماذج ستكون مماثلة لما سوف أو تريد أن تقوم به.

أما الدرس الثالث فهو أن للغة الجبر الخرائطي قدرة على التوسّع أو الزيادة، مثل جميع اللغات الأخرى. ومع التحرك نحو نظم المعلومات الجغرافيّة هدفية التوجيه (OOGISs)، سوف تصبح هذه القدرة أكثر وضوحاً. إن معظم برامجيات نظم المعلومات الجغرافيّة الخلويّة حاليا لديها لغاتها البرمجية الخاصة بها، (بعضها مثل الجبر الخرائطي، وأخرى غير ذلك)، وبعض هذه البرامج أنشأت مجموعة من الوحدات هدفية التوجيه (مثل، MapObjects) التي سوف تزيد من مجموعة أدواتك، والتي أيضاً تسمح بأن يتمتع برنامجك بقدرة أكبر وأسرع في التوسع والتطور، سواء لتبسيط واجهته التفاعلية الخاصة بالمستخدم، أو عملياته، أو اقتطاع مجموعة فرعيّة من

حزمة البرنامج لتلبية احتياجات معينة من الاستخدام أقل وأكثر تحديداً، بدلاً من القدرات الضخمة لهذه النظم التي تفوق في الواقع الحاجة عند تنفيذ مهمة معنية.

وأخيراً، الدرس الرابع وهو كما جاء في الفصل الأول، حيث يمكن تقسيم النماذج المعقدة في نظم المعلومات الجغرافيّة، في كثير من الأحوال، إلى أجزاء أصغر يمكن التحكم فيها. هذا هو موضوع فصولنا القليلة القادمة. سنبدأ بدراسة أساسيات النمذجة ومصطلحاتها، ثم نمضي إلى تصور النموذج، وصياغته، وتخطيطه، وتنفيذه، وأخيراً التحقق من صلاحيته. تقوم هذه الخطوات كليا على فكرة تقسيم أو تجزئة النموذج الأكبر إلى الأجزاء المنطقيّة التي يتكون منها.

مراجعة الفصل

تجمع الوظائف بين المعامِلات الأولية ضمن الجبر الخرائطي لحل مجموعة واسعة من المشكلات المختلفة وتُصنّف على أساس قدراتها الوظيفيّة. فتوفر الوظائف المحليّة نظرة محدودة "النظر من عين دودة أرضية" (worm's-eye view)، إذ تعمل على أساس خلية تلو الأخرى. يسمح هذا بعمليات إعادة التصنيف والمعالجات الرياضيّة للخلايا الفردية، فإما خلية واحدة كل مرة، وإما جماعياً داخل الشبكة بأكملها. وتستخدم معظم الوظائف التركزيّة المعامِلات المتاحة داخل جوارات الخلايا الشبكية. كما يمكن أن تكون الجوارات إما مجموعات نوافذ ساكنة، وإما جوالة (متحركة) من الخلايا المتجاورة. ويمكن اختيار هذه الجوارات من ضمن طائفة واسعة من الأشكال التي يمكن تحديدها من المستطيلات والمثلثات إلى الدوائر، والفِلق الدائرية والحلقات الدائرية. هذا التنوع في الأشكال يسمح بتوصيف الخلايا الفردية المُخرجة أو مجموعات الخلايا على أساس الخصائص الوصفيّة، أو توزيع الخصائص الموجودة في الجوارات. في حين تستخدم الوظائف النطاقيّة الكثير من نفس المعامِلات، وأشكال الجوار، ومعايير التقييم مثل الوظائف التركزيّة، لكنها توفر مرونة أكثر في توصيف الخلايا المُخرجة على أساس مفهوم الإقليم. وهذه الأقاليم يمكن أن تكون خلايا متجاورة، أو مجموعات من الخلايا المتخلخلة (ذات فجوات)، أو تكتلات خلوية غير متصلة تشترك كلها في نفس الخصائص. كما تتشابه الوظائف الكتليّة مع وظائف النوافذ التركزيّة المتحركة، مع الفارق في أنه بعد كل تقييم، تنتقل النافذة إلى مجموعة فريدة من الخلايا قبل أن يستمر التقييم الإضافي.

أما الوظائف الشموليّة، وخلافا لجميع أنواع الوظائف السابقة، تعمل على كامل الشبكة دفعة واحدة. يمكن تجميع هذه الوظائف القوية في الفئات التالية: وظائف تحديد المسافة الإقليدية والموزونة؛ ووظائف توصيف (تشخيص) السطح وتحليله؛ ووظائف هيدرولوجية، ووظائف المياه الجوفية، والوظائف متعددة المتغير. وتسمح الوظائف الشموليّة بالحركة خلال بعض خلايا الشبكة أو جميعها داخل خريطة واحدة أو أكثر. وتُستخدم هذه الوظائف في أغلب الأحيان عندما تتطلب الحركة، والتشتت، والتحليل الحجمي والسطحي، والتقييم المتعدد المعايير مقارنةً لكل من الأحوال الرأسية والأفقية للخلية.

تتطلب النمذجة بالقدرات الوظيفيّة للجبر الخرائطي إدراك واستخدام أربعة مبادئ أساسية. أولاً، إن المعرفة العميقة بالقدرات الوظيفيّة لبرنامج نظام المعلومات الجغرافيّة الخاص بك وطريقة تنفيذه للجبر الخرائطي ضرورية لبناء أي نموذج ناجح. ثانياً، من بين أسرع وأنجع السبل لمعرفة كيف تطبق هذه الوظائف في مجالك المعرفي الخاص هو دراسة الأمثلة الناجحة التي تم تنفيذها بهذه الوظائف. ثالثاً، الجبر الخرائطي شأنه شأن جميع اللغات الحاسوبية، له القدرة على النمو أو التوسّع من خلال تطويره بالقدرات الخوارزمية الإضافية، مُصممة بلغات البرمجة التقليديّة والهدفية الموجَّهة، ليتجاوز البرنامج بذلك قدراته المحدودة الموجودة. أخيراً، ورغم أن نماذج نظم المعلومات الجغرافيّة قد تبدو، في كثير من الأحيان، مستحيلة نتيجةً لدرجة تعقيدها - إلا أنه يمكن تقسيمها إلى أجزاء ثانوية في شكل وحدات بسيطة نسبياً، بحيث يمكن بناء كل وحدة أو جزء بشكل مستقل عن النموذج العام الكامل، ثم ربطها مع بعضها للتطبيق أو التنفيذ النهائي للنموذج.

مواضيع المناقشة

١- اشرح المشكلات المحتملة المرتبطة بإعادة التصنيفات للبيانات الشبكية عندما تغير النتيجة المقياس الجغرافي لقياس البيانات. ضمّن في مناقشتك المشكلات المرتبطة بمقارنات وظيفية محلية لمجموعة واحدة من البيانات الشبكية مع أخرى.

٢- صف وقدّم مثالاً بسيطاً لكل نوع من الأنواع الأساسية الستة للوظائف المحليّة (هندسية، وأسّيّة ولوغاريثمية، وإعادة التصنيف، والاختيار، والإحصائيّة، والحسابيّة). اقترح كيف يمكن استخدام كل منها في النموذج. على سبيل المثال، كيف يمكن استخدام طريقة استخراج العدد العشوائي داخل الوظائف المحليّة؟

٣- افترض أن لديك شبكة تبيّن أعماق كتلة ركاز (خام) تحت الأرض في شكل قيم أعماق فردية مسجلة لكل خلية شبكية، وشبكة أخرى تبيّن قاع هذه الكتلة. اشرح كيف يمكن أن تصيغ معادلة بسيطة باستخدام الوظائف المحليّة فقط التي من شأنها أن تسمح لك بتحديد أفضل مكاناً للحفر عن هذا الركاز. ما المعلومات الأخرى التي قد تحتاجها؟

٤- إن من الطرائق المألوفة في عرض واجهة الانحدار في شبكة خلوية هو استخدام عدد يتراوح، على سبيل المثال، من (٠) إلى (٣٥٩)، حيث يمكن أن يشير (٠) إلى أن الخلية موجهة للشمال. تناول في مناقشة بعض الطرائق البديلة في ترميز واجهة الانحدار. ما هي مزايا وسلبيات الطرائق المُدمجة (Compact) مقارنةً بطريقة (٣٦٠°). اشرح الطريقتين الأساسيتين (غير المُدمجتين) المستخدمة في تمثيل الانحدار. كيف يمكن استخدام الوظائف المحليّة في عزل المناطق التي لها انحدار أكثر من (٣٠°) وتقع إما في الجنوب، وإما في الجنوب الشرقي؟

٥- هناك من يقول أن الانحدار وواجهة الانحدار لا يمكن فصل بعضهما عن بعض. اشرح هذه العبارة.

٦- قدّم بعض الأمثلة الملموسة لكيفيّة استخدام الوظائف المحليّة. اجعل أمثلتك تشتمل على تلك الوظائف الأساسية، مثل إعادة التصنيف ومطابقة الخرائط.

٧- ما الفرق بين طريقتي الاختيار القائمة على الصفات والقائمة على الموقع؟

٨- ما الفرق الأساسي بين الوظائف المحليّة والوظائف التركزيّة، وبين الوظائف التركزيّة والنطاقيّة؟

٩- يعتمد الجوار في العمليات التركزيّة إلى حد كبير على موضع الخلية المستهدفة. صف واشرح كيف توجّه الخلية المستهدفة طريقة وضع الجوارات التي على شكل مربعات، ودوائر، وفِلق دائرية، وحلقات دائرية.

١٠- صف الوظائف الكتليّة. ما أوجه الشبه والاختلاف بينها وبين الوظائف التركزيّة؟

١١- هناك العديد من الأشكال الاختيارية المتوفرة في الوظائف التركزيّة والنطاقيّة لتحديد الجوارات. قدّم بعض الأمثلة للحالات التي قد تختار لها تلك الأشكال مثل الفِلق الدائرية، والدوائر، والحلقات الدائرية. تلميح: فكّر في أشكال الأهداف التي تصادفها دائما على المظهر الطبيعي للأرض.

١٢- اشرح كيف تُستخدم تلك الوظائف التركزيّة مثل الأغلبيّة، والتنوع، والحد الأدنى، لتوصيف خصائص الجوارات ثم استعمالها في إنشاء خلية شبكية مُخرجة.

١٣- اشرح كيف يمكن استخدام الوظائف الشموليّة لاستخراج سطح يبيّن الصعوبة النسبيه لحركة صيادين بدائيين عبر التضاريس. اقترح بديلين إضافيين على الأقل بحيث يمكن من خلالهما تطبيق وظيفة المسافة.

١٤- ما الفرق بين مسافة التكلفة ومسافة الطريق أو المسار؟ ما هي المسافة السطحية؟ وكيف تختلف عن المسافة الأفقية المستوية؟ قدّم بعض الأمثلة للعوامل الرأسية والأفقية التي قد تعقّد نماذج مسافة المسار.

١٥- ما أوجه الشبه والاختلاف بين طريقتي إسترالر وشريف في ترتيب المجاري المائية؟

١٦- اقترح أنواعاً من الوظائف التي يمكن أن تُستخدم في تحليل التحزّم أو النطاقات (Buffering)، وتحليل الرؤية، وأثر السياج الواقي على التعرية.

١٧- ما الفرق بين تحليل نظم المعلومات الجغرافيّة أحادي المتغير ومتعدد المتغير؟

أنشطة تعليمية

١- بالنظر إلى قيم الشبكة الخلويّة التالية، نفّذ عدداً من الوظائف المحليّة (واحدة على الأقل من كل الأنواع الأساسية الستة). هنا، شبكتان مقدمتان (أدناه) للوظائف يتطلبان مقارنات (أي، عمليات مطابقة). ولهاتين الشبكتين، قم بتخصيص صفات لكل عمليّة تريد أن تنفذها. ومتى ما كان ذلك ممكنا، اشرح ماذا تعني العمليّة من حيث التغييرات التي تحدث للصفات.

3	3	2	4	8	1	0	0	0	0
3	2	0	5	6	4	3	0	0	0
3	4	2	2	9	3	3	3	0	0
0	0	0	0	2	5	4	3	3	0
7	0	1	0	2	8	0	3	0	0
0	0	0	1	0	2	0	0	0	0
3	7	0	1	1	0	2	1	0	0
7	1	1	1	1	2	1	0	0	0
1	1	1	1	2	1	1	0	0	0
1	1	1	1	0	1	0	0	0	0

الشبكة الثانية

3	3	1	4	8	1	0	0	0	0
3	2	0	5	6	4	3	0	0	0
3	4	2	2	9	3	3	3	0	0
0	1	1	0	2	5	4	3	3	0
7	1	1	1	2	8	1	3	0	0
0	1	1	1	1	2	1	1	1	0
7	7	1	1	1	1	2	1	1	1
6	1	1	1	1	2	1	1	1	0
1	1	1	1	2	1	1	0	0	0
1	1	1	1	2	1	0	0	0	0

الشبكة الأولى

٢- باستخدام إحدى الشبكتين من السؤال الأول، اختر خلية مستهدفة وجواراً للوظائف التركزيّة لكل من الأشكال التالية: مربع، دائرة، (تقريبية، بالطبع)، فِلقة دائرية، حلقة دائرية. وضّح كيف تبدو هذه الأشكال وأين تكون الخلايا المستهدفة.

٣- نفّذ لكل شكل من هذه الأشكال، العمليات الوظيفيّة التركزيّة التالية: الحد الأعلى، والمتوسط، والتنوع.

٤- حدّد ثلاثة نطاقات (أقاليم) مختلفة من إحدى الشبكتين في السؤال الأول. اجعلها تشمل نطاقاً متجاوراً، ونطاقاً ذا فجوات، ونطاقا مجزءاً.

٥- باستخدام كلتة جوار ذات (٥ × ٥) خلايا، نفّذ وظيفية كتليّة للحد الأعلى على الشبكتين في السؤال الأول.

٦- مرة أخرى، وذلك باستخدام الشبكة الأولى من السؤال الأول، افترض أن الأرقام الموجودة تمثّل مجموعة رموز تمثّل الاتجاه، حيث يمثّل (٠) الشمال، و(١) للشمال الشرقي، و(٢) للشرق، وهلمّ جرّا. وتمثّل الشبكة الثانية الانحدار، حيث يمثّل (٠) منطقة منبسطة، و(١) يمثّل (١٠°)، و(٢) يمثّل (٢٠°)، وهلمّ جرّاً. الآن اعزل جميع المناطق التي تواجه الشمال، والشمال الشرقي، والشرق والتي يكون فيها الانحدار أكبر من (١٠°). ما نوع هذه الوظيفة؟

٧- افترض أن الشبكة الأولى تمثّل الغطاء الأرضي. هنا، يمثّل العدد (٠) المناطق العشبية المهجورة، و(١) الحقول البور، و(٢) الطرق، و(٣) محاصيل الخضروات، و(٤) المناطق السكنية منخفضة الكثافة، و(٥) المناطق السكنية عالية الكثافة، و(٦) الأراضي التجارية، و(٧) الأراضي الصناعية، و(٨) مراكز التسوّق، و(٩) المناطق الخدمية والمصرفية. استخدم هذه الفئات الاسميّة لتحديد شبكة جديدة مُخرجة تبيّن قيم احتكاك محتملة للحركة عبر الشبكة.

٨- بناءً على سطح الاحتكاك الذي انتجته من السؤال السابع، قم بعمل سطح للتكلفة المتراكمة على أساس التفاعل بين شبكة الغطاء الأرضي وسطح الاحتكاك.

٩- من خلال العمل مع الشبكات التي انتجتها في السؤال الثامن، اقترح كيف يمكن إجراء حساب لمسافة تكلفة. ضمّن ذلك، أيضاً، شرحاً لكيفية إدراج العوامل الرأسية والأفقية، أيضاً، في هذا الحساب.

١٠- أنشئ شبكة ارتفاع خاصة بك استناداً على فكرة نموذج الارتفاع الرقمي. بيّن كيف يمكن أن تقوم بعمليّة معالجة لقيم شبكتك لتحديد المجاري المائية أو أحواض تصريف المياه، أو كليهما.

الفصل الخامس

أسس النمذجة
MODELING ESSENTIALS

أهداف تعليميّة

يُفترض أن يكون الطالب قادراً بعد إكمال هذا الفصل وتعزيز محتوياته بقراءات خارجية، وبالبحث وبالممارسة العمليّة على عمل ما يلي:

١ – استخدام ثلاثة أو أربعة أمثلة من الأعمال المنشورة، ثم عزل العناصر المكانيّة التي استخدمت في إنشاء النماذج وكيف حدّدت هذه العناصر كعناصر خرائطية لبناء النماذج.

٢ – تحديد الطرائق، في تلك المقالات، التي تم فيها ربط العناصر المكانيّة بعضها ببعض؛ هذه الروابط قد تكون ارتباطات منطقيّة، أو مكانيّة، أو رياضيّة، أو إرشادية، وهلمّ جراً، ويمكن أن تكون صريحة أو ضمنية، سواء كانت حقيقية أو مستنتجة.

٣ – تحديد أساليب للكشف عن العناصر والتفاعلات المكانيّة لبناء النموذج، بما في ذلك هندسة المعرفة، وحصر المراجع، والتقنيات الإحصائيّة.

٤ – تعريف وشرح الأنواع التالية من نماذج نظام المعلومات الجغرافيّة (الخرائطيّة):

- وصفيّة.
- موصِّفة (مشخِّصة).
- توليفيّة.
- تفكيكيّة.
- تجريبيّة.
- استقرائيّة.
- استدلاليّة.
- تنبّؤيّة.

٥- شرح العلاقة بين النمذجة التنبّؤية والوصفيّة والموصَّفة بنظم المعلومات الجغرافيّة.

٦- شرح الفروق بين أنواع النماذج الخرائطيّة التجزيئية والإرشادية (الموجِّهة)، والهجينة.

٧- مناقشة مزايا استخدام المنطق الاستدلالي وسلبياته في بناء النماذج الخرائطيّة.

٨- مناقشة مزايا استخدام المنطق الاستقرائي وسلبياته في بناء النماذج الخرائطيّة.

٩- مناقشة دور النمذجة الوصفيّة في إنتاج نماذج موصَّفة.

١٠- سرد قائمة بالحلول الممكنة لمشكلة بناء النماذج الإرشادية بنظم المعلومات الجغرافيّة.

١١- تقديم أمثلة من المؤلفات في نظم المعلومات الجغرافيّة والنماذج الخرائطيّة التي تنسجم عناصرها مع فئات النماذج المبينة في هذا الفصل.

التفكير مكانياً

إن النمذجة بنظم المعلومات الجغرافيّة ليست محاولة بدهية، خصوصاً لأولئك الذين لا يستند تفكيرهم على ركيزة قوية في التحليل الجغرافي والتفكير المكاني. ورغم أن الناتج من التحليل الجغرافي، وخاصة الناتج الخرائطي، يترك الواحد مع الانطباع المضلل بأن العمليّة بسيطة وواضحة - إنطباع، في الحقيقة، غير صحيح تماماً - إلا أن الحال، في كثير من الأحيان، على النقيض من ذلك تماماً. لم يُقصد من هذا أن يثنيك عن متابعة النمذجة بنظام المعلومات الجغرافيّة بل بالأحرى يحذرك من مغبة سلك المنهجيات التي تبدو مريحة وبسيطة في الوقت الذي يكون المطلوب حلولا أكثر تعقيداً. وعلى العكس من ذلك، فلا ينبغي لأحد أن يستخدم حلولاً معقدة عندما تكون الحلول البسيطة والأكثر سلاسة تفي بالغرض. كل هذه المشكلات تحدث عندما تُستعمل قوة نظم المعلومات الجغرافيّة دون تخطيط مسبق وإعداد دقيق.

ولعل أفضل خطوة أولى قبل النمذجة، إدراك العناصر المكانيّة للمشكلة المطلوب نمذجتها. فبدلاً من أن تبدأ مع العناصر نفسها، فإنه من الأفضل أن تبدأ، في كثير من الأحيان، بفحص الناتج المتوخى من التحليل. ويُسمى هذا المنتج غالبا بمُنتَج المعلومات المكانيّة (Spatial Information Product –SIP) (Marble,1994)، إذ إن إدراك المُخرج المطلوب يتيح لنا تقسيم الناتج المتوخى ونموذجه إلى مكونات أو عناصر تفاعليّة. يشبه هذا، عمليّة التشريح المستخدمة في علم الأحياء، للبدء بفهم كيفية تركيب الأجزاء في موضوع ما مع بعضها. ومثل العينة المشرّحة، فإن منتج المعلومات المكانيّة يسمح لنا على الأقل بتقديم بعض التقدير الأولي للعلاقات الوظيفيّة للمكونات، من حيث موقعها (أين هي)، وتجاورها (كيف تتجاور) في المكان.

يتفرد كل مجال موضوعي بمجموعاته من البيانات، وبتفاعلاته، وبمنتجاته المعلوماتية المكانيّة المحتملة. ولا تزال هناك بعض العموميات التي يمكننا استخدامها لنبدأ أعمالنا التشريحية. يمكننا تحديد هذه بوصفها مجموعة من

المبادئ التوجيهية وليس كمجموعة قواعد صارمة. سنقصر مناقشتنا على المنتجات المعلوماتية الخرائطيّة المكانيّة. ورغم أن هناك العديد من الأنواع الأخرى للناتج المحتمل - إلا أن معضمها يمكن أن يُشتق، بشكل أو بآخر، من الخريطة. سوف توفر الأدلّة التوجيهية التالية أساساً لمعظم مجالات وسيناريوهات النمذجة:

• الدليل الأول: يحتوي منتج المعلومات الخرائطيّة المكانيّة (المُخرج من التحليل) في داخله مجموعة من أبسط المُخرجات الخرائطيّة الوسيطة وأكثرها عناصراً.

• الدليل الثاني: المنتجات الخرائطيّة الوسيطة المُخرجة هي في الغالب نماذج بسيطة بحد ذاتها، كل منها يتألف من عناصر خرائطية أو عددية لا يمكن فصلها.

• الدليل الثالث: يمكن أن تكون العناصر إما شبكات (خرائط موضوعيّة كاملة)، وإما مجموعات شبكية فرعيّة (مثل، النوافذ)، وإما قيم عددية، وإما متغيرات.

• الدليل الرابع: ترتبط العناصر مع بعضها عن طريق معامِلات (Operators). وتمثّل المعامِلات العلاقات الوظيفيّة بين العناصر الأخرى.

• الدليل الخامس: بعض العناصر سوف تُستخدم أكثر من مرة، وذلك لمكونات النموذج الوسيطة. في حين أن بعض العناصر ستُستخدم أكثر من مرة داخل المكون الواحد الوسيط للنموذج.

• الدليل السادس: نماذج نظم المعلومات الجغرافيّة هي مجرد نماذج، وينبغي أن تقدم فرصة من أجل التحقق والتأكد من صلاحيتها، وتبرير القرار، وتحسين النموذج. وكل هذه تعتمد إلى حد ما على القدرة على التحديد والشرح الصريحين لجميع تفاعلات المكونات المستخدمة في عمليّة بناء النموذج.

كل من هذه الأدلة أو المبادئ التوجيهيه تستند إلى فرضية، وهي إننا نستخدم أساسا في المُدخلات والتحليل والمُخرجات بعض التمثيل الخرائطي للبيانات التي تمثّل جوانب مختارة من سطح الأرض - خصائصه المادية، والأحيائية، والاقتصادية الاجتماعية. في القضية الحالية (موضوعنا)، نحن نقصر، بطبيعة الحال، تمثيلنا وتحليلنا (المُخرج، في الغالب) على الأشكال الخلويّة للتمثيل الخرائطي. ومع ذلك، فإن نقطة البداية في عمل جميع نماذج نظم المعلومات الجغرافيّة الخرائطيّة تقريباً هي القدرة ليس فقط على تحديد البيانات الخرائطيّة المتاحة ولكن، أيضاً، أن يكون لدينا فهماً راسخاً بأن ثمة جغرافيا وراء ما نفعله.

إنها هذه الجغرافيا الأساسية، وتمثيلها الخرائطي المألوف، هما اللذان يتيحان لنا في المقام الأول البدء في النمذجة بنظم المعلومات الجغرافيّة. لقد شرح ديميرس (DeMers, 2000a) هذا على أنه بمثابة تطوير "مرشّحة أو مصفاة جغرافيّة" وظيفية. ويبدو أن بعض الناس لديهم هذه القدرة، في حين أنها تصعب على البعض الآخر. إن هذه المصفاة الجغرافيّة، في الحقيقة، متاحة لنا جميعاً؛ إذ قد تبدو فقط كامنة عند البعض أكثر من غيرهم. لقد ذكر روبنسون وآخرون (١٩٩٥م) أن ما نقوم به ما هو إلا تطوير فني وعلمي لعملية رسم الخرائط (Graphicacy)... وهو

القابلية أو القدرة على التفكير مكانياً حول عالمنا. ولأننا نعمل يوميا ضمن السياق المكاني، فإننا، في كثير من الأحيان، نأخذ المكان أو جغرافيا كمسلَّمة؛ فنعمل بشكل تلقائي. فعندما تفقد مفتاح سيارتك، أو نسيت أين أوقفت سيارتك، أو وجدت نفسك يوما تسير في الطريق الخاطئ نحو فصلك، فإنك في الواقع قد انشغلت بأشياء أخرى غير البيئة المكانيّة المألوفة. فأنت في الواقع لم تفقد مفتاحك، لكنك ببساطة وضعته في مكان ما وفشلت في ملاحظة المذكّرات المكانيّة التي تساعدك في العثور عليه. وينطبق الشيء نفسه على سيارتك الواقفة، ورحلتك الخاطئة إلى فصلك الدراسي. إن سياقك المكاني ليس صريحاً، لكنه مفقوداً، أو أصبح مشوشاً بسبب المُدخلات من القرائن أو الدلائل المكانيّة غير الصحيحة أو الكاملة.

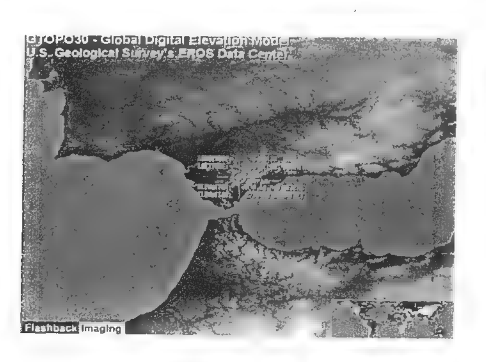
وبالرغم من أن حركتنا وتجاربنا اليومية خلال الحيز الجغرافي غالباً ما تُسجل وتولّف بدرجة أكبر أو أقل بواسطة النصف التحليلي الأيسر من دماغنا - إلا أن جزءاً كبيراً من إدراكنا وفهمنا المكاني موجود على الجانب الأيمن. لقد وجد الفنانون أن الأمر يتطلب تمرين إعادة توجيه هذا النصف من الدماغ إلى واجباته بعد فترات طويلة من الخمول (Edwards, 1979). وبما أن فن رسم الخرائط يتطلب التفاعل من كلا جانبي الدماغ، فإننا بحاجة إلى الممارسة والتدرب أكثر حتى من الفنان. نحن بحاجة أولاً إلى أن نكون قادرين على إدراك أن الأنماط موجودة. ويتم ذلك عن طريق تركيز اهتمامنا أثناء العمل في بيئتنا. فنحن بحاجة إلى أن نتعامل باستمرار مع الخرائط والتصوير الجوي، والرحلات الميدانية. إننا بحاجة إلى نصل للأعلى ثم ننظر إلى أسفل في عالمنا وكأننا نجلس في مقعد النافذة عندما نسافر جواً.

إننا بمجرد أن نبدأ في التعرف على الأنماط، فإننا قد قمنا باتخاذ أولى الخطوتين الرئيسيتين في إعداد أنفسنا لنكون هواة فنيين في رسم الخرائط. إن خطوتنا التالية هي أن نبدأ بفهم أن الأنماط مرتبطة ببعض العمليات التي أوجدت تلك الأنماط، وهي عمليات يمكن التعرف عليها أثناء العمل. بعد أن نقضي بعض الوقت في عمل هذا، فإننا سنرى الأنماط المكانيّة في كل مكان، وسوف نبدأ فوراً نتساءل لماذا هذه الأنماط بالذات موجودة، أو لماذا تتغير، أو كيف يمكن أن تكون ذات أهمية لمجالنا المعرفي؟ في الواقع، إن ممّارسي النمذجة بنظم المعلومات الجغرافيّة عادةً ما يكون لديهم قدرة على الانتقال من مجال معرفة واحد إلى آخر، ومن مقياس واحد إلى آخر، دون لحظة تردد.

مع هذه النصيحة المقدمة، فإنك لا تزال في حاجة إلى دَفعة، مثلما يفعل رساموا الأزهار عندما يُقال لهم أنه يتعيّن عليهم تدريب الجانب الأيمن من الدماغ. سوف تقدم الفقرات القليلة القادمة تلك الدَّفعة. فسوف أستخدم عددا من الأمثلة التي معظمنا إما على دراية بها، وإما أننا نستطيع أن نتآلف معها في وقت قصير جداً. وكما هو الحال مع التقنيات في كتاب بيتي وإدواردز (١٩٧٩م)، فهي مصممة ليس بوصفها بديلاً عن التجربة المكانية لكن باعتبارها بعض الأدوات الأساسية لمساعدتك على تطوير المهارات الضرورية. وسندرس عزل كلاً من الأنماط

المكانيّة والعلاقات المكانيّة، وهي مفاهيم مرتبطة ببعضها لكنها ليست متماثلة. سنبدأ مع الأنماط أولا والعلاقات الغطائية (Cover) لاحقاً.

دعنا نبدأ بتحديد بعض المصطلحات الأساسية. أولاً وقبل كل شيء، ماذا نعني حقا عندما نقول نحن سوف نعزل العناصر المكانيّة لمشكلتنا؟ في تفسير الصور الجوية، نحن كثيراً ما نطبق طريقتين مترابطتين عندما نقيّم مشهدا ما - تحديد وإدراك. فيعني التحديد، في أغلب الأحيان، أننا نعلم بالفعل أن هناك أشياء محدّدة (أو حتى أنماط) واردة ضمن الصورة. مهمتنا هي مجرد العثور عليها، ووضع علامة لمواقعها، وهي مهمة غالباً ما تعتبر أدنى مستوى في استخراج الظواهر. هذا من شأنه أن يكون مساوياً لمعرفة أن هناك مجاري مائية في نموذج ارتفاع رقمي (الشكل رقم ٥,١). سيكون الهدف - عندئذ - تحديد أين تقع هذه المجاري بالضبط داخل هذا النموذج. وبالرغم من أن هذه المعلومات مفيدة - إلا أن التحديد يتطلب بأن نكون على علم مسبق بأنه يوجد نمط أو ظاهرة ما.



الشكل رقم (٥,١). نموذج الارتفاع الرقمي مع نمط المجاري المائية. انظر إلى التنظيم الخطي الذي يساعدنا في تحديد أين يقع المجرى.

إن عمليّة الإدراك هذه لهدفنا هو بالضبط ما نريد. إدراك الأنماط المكانيّة يعد الخطوة الأولى في شرحها واستثمارها لبناء النموذج، وهي ليست مختلفة عن الخطوة الأولى في المنهج العلمي- الملاحظة. وفي مناقشتنا، سوف نبدأ بدراسة أنماط سهلة الملاحظة على المظهر الطبيعي (Landscape)، ثم الانتقال إلى الأنماط التي لا يمكن رؤيتها إلا

إذا تم ربط موضوعين أو أكثر مع بعضها. سوف نمضي – عندئذ – إلى الأنماط التي هي أكثر وظيفيّة من تلك الواضحة على الفور.

وفي كثير من هذه الحالات، سوف تظهر الأنماط من خلال الملاحظات الموسَّعة حيث يكون النمط مرتبط بالتغيرات الزمنية، أو أنه سوف يتطلب طرائق ملاحظة أكثر تعقيداً؛ إما بسبب أن الأنماط محجوبة على ما يبدو بعناصر المظهر الطبيعي غير النمطية، وإما أن الأنماط دقيقة بحيث لا يمكن مشاهدتها، وإما أن الأنماط الكامنة تتطلب بعض الوظائف القوية التي تكشف وجودها. وقبل أن نبدأ، أسمح لي أن أذكّرك بأن القدرة على مراقبة الأنماط ليست فقط مهارة مفيدة في النمذجة بنظم المعلومات الجغرافيّة بل هي بحد ذاتها مهارة ضرورية للغاية؛ فإذا لم تُدرك الأنماط المكانيّة، فليس هناك سبباً وجيهاً لعمل تحليل بنظم المعلومات الجغرافيّة. الفقرات القليلة التالية مصممة لتجعلك أكثر حساسية لأنواع الأنماط المكانيّة الموجودة، ولتعريفك – مرة أخرى- ببعض الأساليب والأدوات التي يمكن استخدامها لمساعدتك في تصورها.

الأنماط المرئية

نبدأ مناقشة إدراك النمط المكاني مع أكثر الأنواع بساطة، وهو إدراك الأنماط المكانيّة التي يمكن رؤيتها بسهولة، لكنها كثيراً ما يتم تجاهلها. إن الأنماط الأرضية المحسوسة من وجهة نظر علماء الأرض والبيئة موجودة في كل مكان، فعلى سبيل المثال، يمكننا أن نلاحظ المواقع العشوائية للنباتات الفردية ثم نفترض أن هذه التوزيعات العشوائية هي نتيجة لطريقة نشر البذور وغيرها من عناصر تكاثر النبات (مثل الفسائل) (الشكل رقم ٥,٢).

وفي حالات أخرى، قد تبدو النباتات أكثر تكتلاً وتبدو أكثر ارتباطاً بالاختلافات التحتيّة، أو الطرائق غير العشوائية لنشر عناصر تكاثر النبات (الشكل رقم ٥,٣). ولا يزال هناك بعض الشواهد الأخرى التي قد تُظهِر توزيعات منتظمة للنباتات، التي من المرجح أنها مرتبطة بطريقة ما من طرائق التدخل البشري (الشكل رقم ٥,٤).

إن علماء أشكال سطح الأرض (الجيومورفولوجيون) معنيون بملاحظة توزيعات أشكال الأرض، مثل المراوح الغرينية أو الفيضية الناتجة عن ترسب الرواسب عند مصبات المجاري المائية (الشكل رقم ٥,٥)، أو أنماط الكثبان الرملية من عمليات الرياح الإنتقائية (الشكل رقم ٥,٦)، أو الظواهر الجليدية مثل سلاسل الجلاميد أو الركامات (الرواسب) الجليدية التي توحي أنماطها المخططة بعمليات غير عشوائية لتراجع الجليد (الثلاجات) (الشكل رقم ٥,٧).



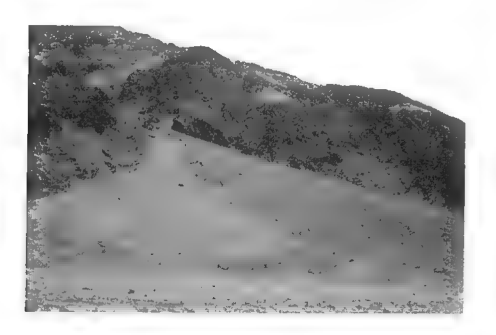
الشكل رقم (٥،٢). تظهر الصورة التوزيع العشوائي للنباتات في البيئة الطبيعية مثل هذه التوزيعات العشوائية هي، في كثير من الأحيان، نتيجة لعشوائية آليات نثر البذور. وهكذا، فإن النمط التوزيعي يمكن استخدامه لمساعدتنا في نمذجتنا بنظم المعلومات الجغرافيّة ليدلنا على الآليات المتصلة بالأنماط.



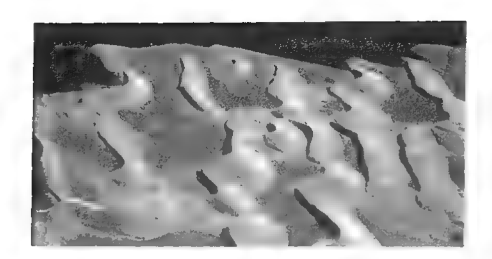
الشكل رقم (٥،٣). توضح الصورة التكتل للأشجار مرة أخرى، نرى كيف أن التوزيع يربط النمط بالعمليّة (Process)، ليساعدنا في عمليّة النمذجة بنظام المعلومات الجغرافيّة.



الشكل رقم (٥,٤) التوزيع المنتظم للأشجار في أحد البساتين. هذه الأنماط التوزيعية، مرة أخرى، تربط النمط مع عمليّة أنماط التوزيع المنتظمة هي بشكل عام نتيجة مباشرة للتدخل البشري.



الشكل رقم (٥,٥). المراوح الفيضية تلك الأنماط الجيومورفولوجية مثل المراوح الفيضية الموجودة أسفل الجبال توفر لنا نظرة عميقة لحركة الرواسب التي قد تهمنا في النمذجة داخل نظام المعلومات الجغرافية.



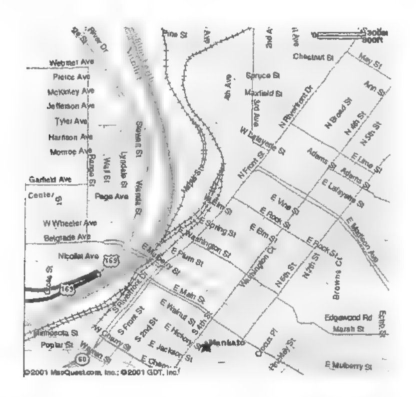
الشكل رقم (٥,٦) أنماط الكثبان الرملية يمكن نمذجة العمليات الجوية (الرياح)، مثل تلك المشاهدة في تشكيل أنماط الكثبان الرملية في نظام المعلومات الجغرافية.



الشكل رقم (٥,٧) جزء من خريطة تبيّن سلسلة منتظمة من الأقواس المرتبطة بتراجع كتلة جليدية (ثلاجة). قد تكون هذه الظواهر مفيدة في إعادة بناء الحركة الجليدية داخل نظام المعلومات الجغرافية.

لقد أخذ علماء بيئة المظهر الطبيعي تحليل أنماط الظواهر الطبيعية إلى آفاق جديدة. فمن خلال التركيز على الأقاليم، والممرات، والمصفوفات المحيطة التي توجد داخلها هذه الظواهر، فإنهم قد أوجدوا مجموعة قوية من التوصيفات الرياضيّة لمساعدتهم في فهم الآليات السببية لهذه الأنماط (Forman, 1995). لقد وضعوا قياسات للمظهر الطبيعي مثل عدد المناطق أو الأقاليم في المصفوفة، وأحجامها وأشكالها، ومسافاتها البينيّة، وكثافاتها، وقياسات العزلة، ونسب المحيط للمساحة، والأطوال والاتجاهات، وغيرها كثير (McGarigal and Mark, 1994). كل هذه المقاييس هي مؤشرات على زيادة حساسيتهم لحقيقة وجود مكونات المظهر الطبيعي، وتوزيعاتها، وغيرها من المؤشرات التي يمكن قياسها كمياً – وكلها تتصل بالإدراك الأولي لهذه الأنماط.

يدرك أخصائيو النقل والعمران بسرعة الاختلافات بين أنماط الشوارع استنادا إلى الشبكة المنتظمة مقابل تلك التي ترتبط بشكل كبير بالأنماط الطبوغرافيّة أو الهيدرولوجية، أو أنماط تقسيم الأراضي في السابق (التاريخية) (الشكل رقم ٥,٨). إن عمليّة التقسيم (Zoning) – أو التخطيط – الحضري والإقليمي هي محاولة لتعديل أنماط استخدام الأرض للسيطرة على النمو، ولتحسين فرص الوصول، ولتوفير أنماط مكانيّة خضراء، وضمان استخدام أمثل للموارد المتضائلة. ومرة أخرى، تأخذ هذه العمليّة في الاعتبار وجود بعض الأنماط القائمة المُدركة.



الشكل رقم (٥,٨). خريطة لمدينة مانكاتو، في ولاية ميسوتا. لاحظ كيف أن نمط الشبكة المنتظم يميل إلى أن ينفصل (يتفكك) قرب النهر. مثل هذه الأنماط تسمح لنا بربط الظواهر الطبيعية بالتخطيط.

إن الوظيفة الأساسية للإدراك في جميع هذه الأمثلة تتضمن شكلاً من أشكال التصوّر للأنماط. ومن ضمن الطرائق المنهجيّة للتصور، السير على طول شبكات الطرق؛ وعمل رصد ميداني للظواهر الطبيعية؛ وقراءة وتحليل الصور الجوية، ومرئيات الأقمار الصناعية، وبالطبع، الخرائط. إن تطوير أفكار ماندلبروت (١٩٨٨م) الأصلية وراء التحديد الكمي للمظاهر الطبيعية وغيرها من الظواهر الأرضية قد اُستنبطت أساساً من مئات الرحلات الجوية (الطيران) التي استطاع من خلالها أن يلاحظ مراراً وتكراراً أنماط الأرض من ارتفاع عالٍ. ومن التقليد المتبع طويلا لدى مجموعة واحدة على الأقل من الجغرافيين هو زيارة المواقع في الميدان وأخذ صور لما يلاحظوه حتى يتسنى لهم توثيق الأنماط الملاحَظة وإدراك الأنماط التي قد تفوت عليهم عند هذه المواقع.

هذه الأنماط الفردية، وآلاف أخرى مثلها، قد تتطلب اطلاعا مستمرا من جانب المختصين المهرة، بحيث يبدأون بفرز العناصر المناسبة التي تشكل الأنماط. ومع ذلك، فهي في معظمها أنماط ذات عنصر واحد. أعني بذلك، أن فئة واحدة فقط من العناصر تُطبّق في تحديد الأنماط، مثل رقع أو مناطق الغابات في الأراضي العشبية (الشكل رقم ٥,٩)، أو أنماط الشوارع في المناطق الحضريّة، أو الركامات الصخرية على الأرض العشبية. ورغم أن هذه الأنماط (ذات العنصر الواحد) قد تكون أمرا شائعا، فإن هناك العديد من الأنماط التي يصعب تحديدها بسهولة بفئة واحدة من العناصر؛ ومن ثم يصعب إدراكها في كثير من الحالات. ولتخصيص اسم لها، سوف نطلق عليها بالأنماط المتعددة، لا لأنها عبارة عن عدة أنماط، وإنما لأن الأنماط هي نتيجة لعناصر أكثر تعقيدا، وغالبا ما تتفاعل مع بعضها (الشكل رقم ٥,٩).

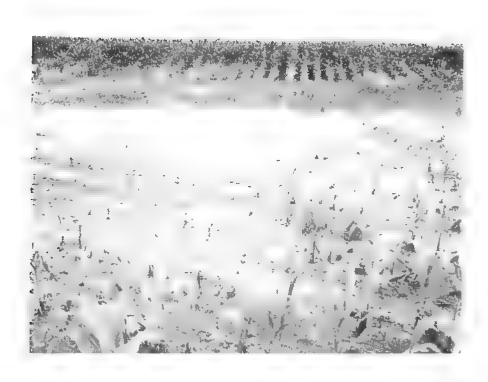
قد تبدو الأنماط المتعددة، للمراقب المتمرس عناصريّة، مثلما تبدو الأنماط ذات العنصر الواحد تماما. أو على العكس من ذلك، يمكن اعتبار الأنماط العناصريّة بسيطة جدا، بحيث تتطلب مزيدا من التفكيك إلى عناصر أكثر تفصيلا. ومرة أخرى، هذا نتاج الخبرة - إلا أن الأمر أكثر من ذلك؛ ذلك أن المراقب، في كثير من الأحيان، يمتلك فهما أكثر عمقا للعمليات القائمة، ومن ثمّ لديه مصفاة فكرية ترشيحية أكثر دقة يستطيع من خلالها تصنيف العناصر نفسها. ويُنظر إلى العناصر المعقدة أحيانا على أنها فئات واحدة، مؤلفة من مزيج فريد من العناصر الأساسية. وقد يرى المراقبون غير المدربين العناصر المعقدة، في حالات أخرى، على أنها ظواهر فردية، في حين يرى المراقبون المدربون عددا أكبر من العناصر والعلاقات المتبادلة بالضبط في نفس المظهر الطبيعي. فعلى سبيل المثال، قد يبدو محصول ذرة للمراقب غير المُدرَّب، على أنه مُميّز، عنصر واحد في المظهر الطبيعي الزراعي. لكن للزراعي المدرَّب، يتألف الحقل، في الغالب، من أجزاء كثيرة، كل منها قد يدل على اختلافات في نمط نضج المحصول النباتي، والذي بدوره قد يعكس الاختلافات في خصائص التربة (الشكل رقم ٥,١٠). وبهذه الطريقة، فإن هناك عنصران نمطيان مختلفان تم ملاحظتهما في نفس الوقت، على الرغم من أنهما يشتركان معا تقريبا في نفس الحيز الجغرافي. هذه الأنماط المتوافقة مكانيا توحي أساسا أن هناك نمط ثالث للتفاعل بين متغيرين. هذه علاقة أساسية

والتي هي نمط مستقل بحد ذاته، والأهم من ذلك، أنها تشير إلى ارتباطات وظيفية سوف تُستخدم في وقت لاحق لعمل نموذج لإنتاج المحاصيل المرتبطة، على سبيل المثال، ببعض خصائص التربة التي في حاجة إلى أن تُكتشف.



الشكل رقم (٥,٩). صورة فوتوغرافية جوية تظهر رقعا من الغابات في أرض عشبية. يستخدم علماء بيئة المظهر الطبيعي هذه الأنماط لتقييم مثل تلك القضايا المرتبطة وظيفيا، مثل حجم الرقعة المكانيّة لأنواع الطيور وأثر العزلة على الثدييات الصغيرة.

يشير مثال التوافقات المكانيّة للمحاصيل والتربة إلى أن نظم المعلومات الجغرافيّة في حد ذاتها يمكن أن تعالج بشكل مناسب موضوع تحديد توافقات الأنماط المتعددة. يسمح استعمال وظائف المطابقة ضمن إطار معين لتفحّص البيانات واستعراضها بصرياً باكتشاف التوافقات للمتغيرات المتعددة (الشكل رقم ٥,١١). هذا ليس مفيداً فقط بوصفه جزءاً من عمليّة المراقبة ولكنه، أيضاً - وكما سوف تتعلم بتفصيل أكثر في هذا الفصل- وظيفةً رئيسةً للنمذجة الخرائطيّة الوصفيّة. سوف نتطرق، إذن، مرة أخرى إلى موضوع الأنماط المتعددة في وقت لاحق في هذا الفصل، عندما نناقش الأنماط الوظيفيّة وعندما ننظر إلى أدوات دراسة الأنماط. يشير المثال، أيضاً، بأنه بالإضافة إلى أن هناك توافقات مساحية بين أو فيما بين المتغيرات - إلا أن الأمر أبعد من ذلك؛ إذ أن هناك بعض الربط الوظيفي وراء هذه التوافقات.

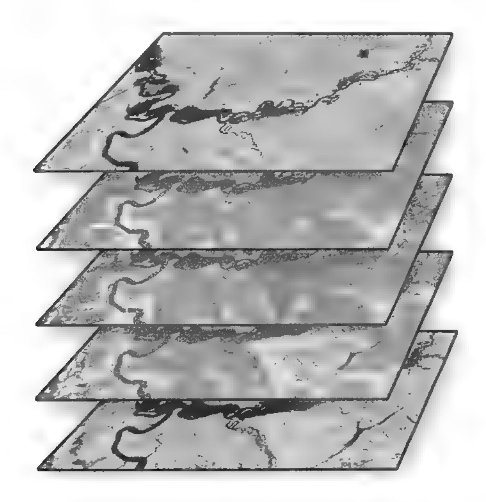


الشكل رقم (٥,١٠). صورة فوتوغرافية لحقل ذرة يظهر درجات مختلفة من النضج. هذه الأنماط كثيراً ما ترتبط بمتغيرات إضافية، غالباً ما تكون غير مرئية.

الأنماط الوظيفيّة

يمكن ملاحظة الأنماط الوظيفيّة من خلال التوافق (التطابق) الجوي، أو قد تصعب فعلاً ملاحظتها بواسطة المنهجيات البسيطة. وهذا يشير، في كثير من الأحوال، إلى معرفة متعمقة أكثر للنظام المكاني الذي يجري تقييمه. هناك سبب واحد لاحتمال عدم القدرة على ملاحظة الأنماط الوظيفيّة، وهو أن الأنماط قد تكون كامنة، إذ تتطلب شيئاً من أجل التوصل إلى وظيفية معينة أو عتبة حدية تفاعليّة قبل أن تظهر الأنماط المرئية. ففي مثالنا السابق لمحصول الذرة، فمهما كان هناك من خصائص للتربة تفسر الاختلافات في المحصول نفسه فإن هذه الخصائص قد لا تظهر إلا في مرحلة معينة من مراحل نمو المحصول. ورغم أن لبعض خواص التربة تأثيراً قليلاً على ظهور المحاصيل، كونها تعتمد على مصادر الغذاء داخل البذور والمياه وعلى الحرارة والطاقة، وغيرها من الخصائص، مثل بعض المغذّيات الدقيقة أو نسيج التربة – إلا أن هذه الخصائص قد تؤثر على النباتات أكثر عندما تبدأ بالظهور والنمو. كما أن الأنماط الكامنة المماثلة لا تظهر، في الغالب، إلا عندما تصل المواد الكيميائية إلى الحد الذي تبدأ تؤثر سلباً على النباتات الناضجة مع مرور الزمن؛ إذ لا تظهر نتيجة هذا التأثير حتى يتم امتصاص كميات كافية منها بواسطة

الجذور. وبعبارة أخرى، هناك قيمة حدية يجب تحقيقها قبل أن تصبح الأنماط مرئية في النباتات، حتى في ظل وجود المواد الصارة فعلاً. لقد وجد الباحثون، في كثير من الأحيان، أنماطاً كامنة وظيفية للأمراض مثل السرطان المتصل بالتعرض المزمن للمواد الخطرة (Harris, 1997). فبدون جرعة كافية من المواد على مدى فترة ممتدة من الزمن ينتج منها زيادةً واضحةً في عدد ضحايا السرطان، فإن النمط لا يزال غير ملاحظ. وبالرغم من أن الزمن هو عنصر في تشكيل هذه الأنماط، فإن القيمة الحدية للمادة وردَّة الفعل عليها هما فعلاً ما يتسبب في ظهور النمط.



الشكل رقم (٥,١١). عمليات مطابقة تبيّن كيف أن مجموعة واحدة من العوامل يمكن أن تتوافق مكانيا مع بعضها.

هناك أنماط وظيفية مماثلة والتي قد يكون لها صلة خاصة بالزمن، دون اعتماد على العتبات الحدية على الإطلاق. يبدو أن الزمن، وقدرتنا على مراقبته، يرتبط ارتباطاً لا ينفصم بحجم وطول العمر النسبيين للمراقب. فالحشرات، على سبيل المثال، والتي يعد طول عمرها، في معظم الأحيان، أقصر بكثير في المتوسط من عمر البشر،

تراقب الزمن بدرجة مختلفة تماما عما نفعله. فالحركات التي قد نتصور أنها سريعة - لنقل على سبيل المثال، حركة أعيننا السريعة - أو حركات الذراع السريعة التي قد تبدو بطيئة جدا للحشرة. هذا قد يفسر لماذا يصعب التقاط الحشرة الطائرة بيديك. وبالمثل، فالفارق الزمني يتسبب في عدم قدرتنا على ملاحظة العديد من الأنماط المكانيّة. ولنأخذ على سبيل المثال، هجرة الحيوانات داخل مظهر طبيعي. فلأجل أن ندرك تماما أنماط الحركة التي يمكن أن تحدث، فإننا بحاجة إلى استخدام أجهزة مثل ياقات الإرسال والاستقبال اللاسلكية لمتابعة الحيوانات لأسابيع، أو شهور، أو حتى سنوات قبل أن تظهر أنماط مكانيّة بارزة. فالأنماط موجودة، لكن ينظر إليها على أنها أنماط كامنة من وجهة نظرنا بسبب الوقت اللازم لملاحظتها وإدراكها بمكن. أيضاً، استخدام عمليات المطابقة الخرائطيّة بشكل فعال لمراقبة هذه الأنماط الزمنية مثل تغير الغطاء الأرضي على مدى سنوات (Boener, et al . 1996)، أو عمليّة تعاقب الإنتاج النباتي، أو تكتل النشاط الإجرامي (Leck. 1998)، أو أنماط الحركة المرورية المتباينة عند أوقات مختلفة من اليوم أو السنة. وحتى بدون استخدام المطابقة بنظم المعلومات الجغرافيّة، فإنه ما زال من الواضح أن الإطار الزمني السليم لأخذ العينات أمر ضروري للسماح بإدراك الأنماط. إذا قمت بمراقبة الحيوانات البرية لفترة (١٠) دقائق فقط، فإن أنماطك الملاحظة ستكون محدودة للغاية. وبالمثل، فإذا لم تراقب أبدا حركة المرور ساعات الذروة، فإنك قد تفترض أن تدفق حركة المرور في مدينتك سلس للغاية دائما. وإذا لم تحتفظ بسجلات للجريمة أو استخدام الأرض ومقارنتها بعد فترات كافية من الزمن، فلن يكون من السهل ملاحظة الأنماط.

لقد اُقترحت بعض طرائق المراقبة التي تذهب أبعد من مجرد رؤية العين المركزة، مثل استخدام أجهزة القياس عن بعد اللاسلكية، وحتى المطابقة بنظم المعلومات الجغرافيّة ومثل أي علم آخر. فنحن بحاجة إلى أدوات خاصة لمراقبة بعض الأنماط، خاصة الكامن منها، أو المعتمدة على العتبة الحدية، أو الفريدة زمنياً، أو الأنماط الوظيفيّة. وحتى إذا ما بدت الأنماط البصرية بسيطة نسبيا، فإنها لا تصبح مُدركة إلا إذا استخدمنا زوايا أو أبعاد نظر مختلفة. لقد تم إثبات هذا في الآونة الأخيرة بواسطة عمل مميز قام به بيتر فشر (١٩٩٥ و ١٩٩٦ و ١٩٩٨م)، الذي أظهر فحصه للخوارزميات المشهورة الخاصة بتحليل الرؤية أننا قد أخفقنا في ملاحظة ما نعني فعلا بتحليل الرؤية. فلقد وجد، على سبيل المثال، إنه على الرغم من أننا عادة ما نفترض أنه إذا كان منزل ما على تلّة معينة في واجهة المشاهد فإن المنزل سوف يُرى، وينبغي أن تعكس الخوارزمية ذلك. بيد أنه، وبافتراض أن جميع العوامل الأخرى متساوية، إذا امتدت واجهة المنزل فوق التلة، فإنه سوف يكون أكثر وضوحاً (أكثر وضوحاً من ذلك الذي لا يمتد فوق التلّة) (الشكل رقم ٥,١٢). يمكن توسيع هذا ليشمل عاملاً مهماً وهو التمايز (يُسمى غالباً بأساس الرؤية). إن فكرة التمويه هي محاولة لإرباك الإدراك البصري للمشاهد أو المراقب من خلال تفصيل الأنماط إلى أجزاء بحيث لا يمكن ملاحظتها. وعلى الرغم من أن التمويه العسكري يفعل ذلك عن قصد، فإن للطبيعة مَيلاً إلى أن تفعل الشيء نفسه على نحو طبيعي ومثلما قد نحتاج إلى استخدام أجهزة استشعار مختلفة لإدراك الجندي المموه، فإننا نحتاج إلى أدوات مختلفة لمراقبة العديد من الأنماط التي قد تكون غامضة.

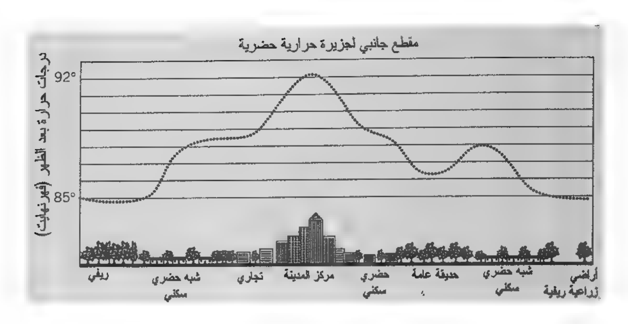




الشكل رقم (٥,١٢). تكون المباني الواقعة في واجهة جبل لكنها لا تمتد فوقه أقل وضوحاً من تلك التي تمتد فوقه.

في حالة مثالنا السابق الخاص بانسكاب المواد الكيميائية، قد تحتاج رؤيتنا إلى أن توسّع من خلال شكل من أشكال أخذ عينات للتربة ورسم الخرائط. فالتوزيع الخرائطي لما قد يكون مواداً كيميائيةً غير مرئية سوف يوضح وجود نمط للتسرب الكيميائي حتى قبل أن تتفاعل معه النباتات إن كثيراً من الأنماط الوظيفيّة غير واضحة حتى نقوم بربط بعض العينات باستخدام تلك التقنيات البصرية المساندة مثل الأشكال والرسوم البيانية. ومن الأمثلة التقليديّة على ذلك مثال استخدام المقاطع الخطّيّة لأخذ عينة لدرجات الحرارة خلال منطقة حضرية. فعندما تُوقّع درجات الحرارة، فإن تركز الحرارة، أو جزر الحرارة الحضريّة، سوف تظهر داخل مركز المدينة (الشكل رقم ٥,١٣). كما أن المقاطع الحزمية المماثلة ستحقق نفس القدر من الأنماط التي يمكن ملاحظتها لأنواع التركزات النباتية أو الحيوانية، أو السكان المتوزعين، أو قيم الأرض عندما تمثّل برسم بياني بسيط أو تقنيات رسم خرائطية.

إن الطريقة الهامة – والتي تُهمل، في الغالب – لتحديد الأنماط هي استخدام طرائق التحليل الإحصائي الخاصة بالارتباط والانحدار. فبالرغم من أن كثيراً منا قد يعرف هذه التقنيات ويوظفها بمعزل في استخدامات خاصة – إلا أننا نعزلها، في كثير من الأحيان، من عمليّة التحليل بنظم المعلومات الجغرافيّة. في الحقيقة، أن توظيف هذه التقنيات للمتغيرات يعد ممارسة جيدة قبل استخدام تقنيات المطابقة الخرائطيّة. فإذا عرفنا سلفاً أن هناك علاقات ذات دلالة إحصائية بين متغيراتنا الممثلة خرائطياً، فإننا سوف نكون على ثقة كبيرة بأن عمليّة المطابقة ستكون منطقيّة ويمكن تبريرها أثناء عمليّة التحقق من صحة النموذج لاحقاً. وبالإضافة إلى ذلك، فإن الطريقة الأكثر فائدة هي أن نرسم البواقي (القيم المتخلّفة) خرائطياً من تحليل الانحدار لتحديد المتغيرات التي لا تلائم أو تنضبط مع النموذج (Marble, 1965).



الشكل رقم (٥,١٣) مقطع جانبي لجزيرة حرارية حضرية تشير إلى أن درجات الحرارة تبيّن فعلاً نمطاً قابل للتحديد. المرجع: هيئة الحماية البيئة الأمريكية.

ينبغي تشجيع المبتدئين في النمذجة بنظم المعلومات الجغرافيّة على فحص مجالهم المعرفي من خلال استخدام كلا من الرسوم الرسوم البيانية البسيطة والطرائق الإحصائيّة الأكثر تعقيداً. سوف يثبت ذلك أنها تجربة مرضية عند مراقبة تلك الأنماط، مثل العلاقة بين أسعار الوقود والقرب من الطرق السريعة الرئيسة أو العلاقة بين عدد الزبائن والمسافة إلى متجر (سواء كانت مسافة فعليّة أو وظيفية). قد يبدو للبعض أنه أمر واضح أن النباتات والحيوانات يبدو أنها تحتل أنماطاً خشنة (عامة) أو على نطاق قارّي، لكنه لم يكن واضحاً لتشارلز داروين وألفريد راسل والاس إلا بعد أن قاموا بأخذ عينات للحيوانات ثم بدأوا بصنع الخرائط. تظهر خريطة الدكتور جون سنو عام ١٨٥٤م، والتي غدت الآن مثالاً تقليدياً نموذجياً، العلاقة الوظيفيّة الناتجة بين مرض الكوليرا وبئر قريبة ملوثة في لندن (الشكل رقم ٥,١٤). كل تقنيات المراقبة هذه وغيرها الكثير لا تزال تعتمد بشكل أساسي على شكل من أشكال الاستعراض المرئي الجغرافي، كرسم بياني أو خريطة في أغلب الأحيان. بمجرد أن يستطيع منمذجو نظم المعلومات الجغرافيّة أن يلاحظوا الأنماط الخاصة بمجالهم، فإنهم يستطيعوا أن يبدأوا عمليّة التحديد الكمي لما يلاحظون. سوف ندرس في الأجزاء التالية بعض الأدوات المشهورة في تحديد الأنماط واقتراح روابط ممكنة بين النمط والعمليّة (Process).



الشكل رقم (٥،١٤) جزء من خريطة الدكتور سنو لجزء من مدينة لندن تبيّن التوزيع المكاني لمرض الكوليرا قرب بئر ملوثة

أدوات لتحديد الأنماط

المظهر الطبيعي

تعد قراءة المظهر الطبيعي تقليداً طويلاً عند الجغرافيين، والرحالة، وعلماء الميدان وفي كثير من الحالات، ليس هناك بديلاً عن التجربة المباشرة. إن قدرتنا على تحديد الأنماط المكانيّة تقوم، إلى حد كبير، على خبراتنا في مراقبتها؛ فكلما راقبنا بيئتنا أكثر، بدأنا نرى كثير من الأنماط. فالمهنيين في مجال تطبيقي معين، والذين هم على اتصال مع بيئتهم، سوف يرون، في أغلب الأحيان، الأنماط التي سوف لن يراها منمذجو نظم المعلومات الجغرافيّة العاميين الذين هم جدد في موضوع مجال التطبيق. وكما رأينا في الفصل الأول، يشير هذا إلى أنه ينبغي أن تكون هناك درجة عالية من التفاعل بين الخبير في مجال التطبيق والمنمذج بنظم المعلومات الجغرافيّة (بافتراض أنهم أناس مختلفون). ينبغي، إذن، أن يراعي كلّ منهما البيئة التي يحاولان نمذجتها متى ما كان ذلك ممكناً.

إنه من المهم الأخذ في الاعتبار استخدام طائفة واسعة من الأدوات، وأبعاد نظر من زوايا مختلفة لتعزيز القدرة على مشاهدة مناطق الدراسة، وليس الاقتصار على زيارتها فقط. فعلى سبيل المثال، بدلاً من الاعتماد فقط على زيارات النهار، فإن جعل الزيارات في أوقات مختلفة من النهار أو حتى في الليل من الممكن جداً أن ينتج معارف حقيقية مختلفة عن تلك التي تنتج من خلال منهجيّة الزيارة الواحدة؛ ذلك لأن أنماط الحركة المرورية، والنشاط الإجرامي، وأنشطة النبات والحيوان، وكثير من الأنماط الأخرى تتغير طوال اليوم. كما قد تبيّن الزيارات الموسمية، أيضاً، اختلافات في الأنماط الناجمة عن التغييرات الموسمية. ينبغي ملاحظة الأنماط، أيضاً، باستخدام كل من العين المجردة والمناظير المقرّبة، وعدسات الاستقطاب، ونظارات الرؤية الليلية، وأشكال أخرى من التحسينات البصرية، بحيث يكمن رؤية الأنماط التي ليس من المعتاد رؤيتها بالعين المجردة. كما أن النظر من وجهات أو زوايا مختلفة يساعد في اكتشاف الأنماط. فالبيئة، سواء كانت طبيعية أو بشرية، تبدو من مركبة متحركة مختلفة تماماً عن تلك التي تُرى من السير على الأقدام، كما أنها تبدو مختلفة من مواقع الرؤية المنخفضة، كأن تكون مواقعاً في وادٍ، على سبيل المثال، مقارنة مع مواقع الرؤية على المنحدرات أو الجبال. كما يمكن تغيير زاوية النظر نفسها للحصول على منظر مختلف للمظهر الطبيعي، على سبيل المثال من منظور أفقي أو عمودي. إن فكرة التحليق (Fly-through) هي، في الحقيقة، تقنية متاحة بسهولة الآن ضمن حزم نظم المعلومات الجغرافيّة، والاستشعار عن بعد، وبرامج الرسوم البيانية، كلها توفر لنا فعليا فرصة تغيير المسافة، والمنظور، وزاوية العرض بشكل سريع للغاية. إن هذا أكثر صعوبة في العالم الحقيقي، لكن من خلال تغيير هذه الخصائص سوف توفر كلها لنا معلومات إضافية عن الأنماط المتاحة للتحليل داخل نظام المعلومات الجغرافيّة.

مسح المراجع

هناك أداة مهمة للمنمذجين ألا وهي مسح المراجع (أدبيات الدراسة). التي تتيح لهم الاستعانة بخبرة المتخصصين في الحقول الأخرى، سواء في حالة عدم وجود أدوات أخرى لتحديد الأنماط أو – وهذا أكثر شيوعاً – إضافةً عليها. إن استقصاء المراجع في مجال الدراسة أو التطبيق بكون، عادةً، موجهاً توجيهاً دقيقاً نحو المشكلة، أو الظواهر، أو الكائنات الحيّة (بما في ذلك الناس) بقدر الإمكان. بيد أن المعرفة بتشكيل الأنماط المكانيّة في مجالات المعرفة الأخرى، وبتفاعلات تلك الأنماط وعملياتها، قد يتمخض عنها بعض التشابهات المثيرة التي يمكن تطبيقها في نمذجتك المستقبلية. خذ على سبيل المثال، المراجع الخاصة ببيئة المظهر الطبيعي، التي يكون فيها نمط المظهر الطبيعي انعكاساً إما لأنماط تاريخية، وإما أنه نتيجة للاختلافات في الأنماط الأخيرة للنباتات أو الحيوانات. يتحدث هؤلاء العلماء عن "الأنواع أو الأجناس المهددة بالانقراض"، كالتي تعيش أو تتغذى في أطراف المظاهر الطبيعية، على سبيل المثال، على طول منطقة التلاقي بين الغابة والحقل (Forman, 1995). هذه الأنماط، كما قد يتبيّن،

تتشارك في شيء من التشابه الملفت للنظر مع أنشطة بعض أنواع المجرمين، مثل أولئك الذين يمتهنون اللصوصية كحرفة، الذين يبحثون في الحواف بين الأحياء السكنية للفقراء والأغنياء. إذن، يُظهر مثل هؤلاء "المجرمين الحافّين" نمطا من النشاط الذي يمكن التنبؤ به من خلال تحديد الحواف المتاحة التي تبدو أنها تشجعه.

إن هناك كمٌّ من المراجع المتزايدة في تطبيقات نظم المعلومات الجغرافيّة ضمن طائفة واسعة من مجالات المعرفة، بما في ذلك الزراعة، والتخطيط الحضري والإقليمي، وتحليل الجريمة، والرعاية الصحية، والتخطيط، والبيئة الحوية. فما كان في السابق عبارة عن مراجع قليلة حول تطبيقات نظم المعلومات الجغرافيّة، أصبحت الآن المراجع في هذا المجال أكثر قوة وتنوعاً. لكن، ولسوء الحظ، ارتبطت هذه القوة، أيضاً، بتشتت المراجع. ومع قدوم محركات البحث الرقميّة والمتاحة بسهولة، أصبح هذا التشتت أقل صعوبة ممّا كان عليه في السابق. والآن كل محركات البحث الرئيسة عن المراجع تقريباً يمكن البحث فيها عن تطبيقات نظم المعلومات الجغرافيّة ونمذجتها والحصول على نتائج وفيرة. بالإضافة إلى ذلك، هناك مجموعات جديدة من المراجع الرقميّة في نظم المعلومات الجغرافيّة متاحة من خلال منظمات مثل المركز الوطني للمعلومات الجغرافيّة وتحليلها (NCGIA) والمكتبة الجامعية الافتراضية لمعهد بحوث النظم البيئيّة (ESRI's Virtual Campus Library). تحتوي هذه المجموعات على آلاف النماذج المبنيّة على التوزيعات المكانيّة. إن الاطلاع على هذه المجموعات وتلك التي توفرت من خلال محركات الأبحاث الرقميّة الأخرى سوف لن تقدم فقط فكرة عن الأنماط الموجودة ولكنها، أيضاً، سوف تعطي أمثلة جاهزة لكيفيّة نمذجتها في السابق.

هندسة المعرفة (مصفوفة الذخيرة المعلوماتية)

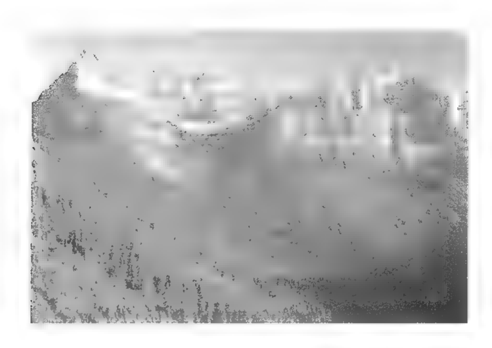
بالرغم من قيمة التقييم الأولي لمناطق الدراسة والاطلاع على المراجع - إلا أنه يوجد أناس، في كثير من الأحيان، تفوق خبراتهم وحساسيتهم للأنماط ضمن مجالهم المعرفي بدرجة كبيرة خبرات المنمذج بنظم المعلومات الجغرافيّة أو المبتدئ في مجال اختصاصي معين. ولا ينطبق هذا على الأنماط المكانيّة فقط، بل على جميع أنواع مجالات المعرفة الأخرى. وللأسف، فإن هذه المعرفة موجودة، في كثير من الأحيان، داخل مجموعة من الإرشادات سيئة التحديد أو أنها ما زالت في إطار التجربة الذاتية. إن الحصول على هذه المعرفة كثيراً ما تكون ضرورية لتطبيقات نظم المعلومات الجغرافيّة في الواقع، لكن المقابلات غير المنظمة قد لا تكفي للحصول على هذه المعرفة، خصوصاً إذا دخل عامل الزمن في التطبيق. كما أن أساليب مثل تقنية دلفي قد طُبقت بين مجموعات من الأفراد لتشجيع المناقشة واستخلاص الإرشادات (DeMers, 1989). لكن، مثل هذه المنهجيات تعمل عندما تكون مكونات أو عناصر المعرفة جيدة التحديد بصورة مقبولة. وعندما لا تكون كذلك، فإن الأمر يتطلب استخدام تقنيات أخرى أكثر تركيزاً.

لقد طور المهنيون داخل ميدان النظم الخبيرة والذكاء الاصطناعي مجموعة متنوعة من التقنيات المنظمة لاستخراج المعرفة سُميت بمصفوفة الذخيرة المعلوماتية (Repertory Grid). واستناداً على عمل كيلي (١٩٥٥م) في علم النفس الإكلينيكي، فقد اُستخدمت هذه التقنيات لتطبيقها بنظم المعلومات الجغرافيّة بهدف التعرف على الأنماط (Coulson et al., 1987)، خاصةً الأنماط المعقدة التي لا تُرى بسهولة على المظهر الطبيعي. تبدأ هذه الطريقة بتحديد مجموعة من الكيانات أو الأهداف، ثم تطلب من المستخدم تحديد بعض التركيبات البنائية (الصفات تحديداً) التي تميّز تلك الأهداف. وبالرغم من أن التقنية العامة بسيطة إلى حد ما - إلا أنها كانت ذات فائدة في إنتاج نظم معلومات جغرافيّة خبيرة (Expert GIS Systems) بسيطة. ويبدو أن هذه المنهجيّة يمكن تطبيقها، أيضاً، بسهولة على تحديد وتوصيف الأنماط المكانيّة كذلك. وبالإضافة إلى ذلك، تعد طريقة هندسة المعرفة هذه مفيدة في توفير صياغة موضوعيّة صريحة لكثير من المكونات أو العناصر المكانيّة الضمنية التي عادةً ما تكون غامضة في ميدان معرفي معين. كما أن هناك أساليب أكثر تقدماً طُبقت على اكتساب تشخيص وصفيّ أكبر للأقاليم (Robinson, 1990)، لكنها ليست متاحة بسهولة ولا تزال نظريّة بشكل كبير. يتوفر برنامج خاص بمصفوفة الذخيرة المعلوماتية، بل إنه في متناول الجميع على الشبكة العنكبوتية العالمية (انظر: http://www.csd.abdn.ac.uk/~swhite/repgrid/repgrid.html).

الخرائط

رغم أن طريقة مصفوفة الذخيرة المعلوماتية غريبة إلى حد ما، على الأقل لمجتمع نظم المعلومات الجغرافيّة - إلا أن الخريطة مصدر واضح ومتوفر بسهولة لإدراك الأنماط المكانيّة. ولعلك تدرك أثناء قراءة هذا الكتاب، المجموعة الكبيرة من الخرائط التي يمكن أن توضح أنماط طائفة واسعة من المظاهر والبيئات الطبيعية. ليس من الضروري معالجة ذلك بالتفصيل، لكن يجب عليك أن تكون على علم بالعديد من المواضيع، والمقاييس، والمساقط، والأبعاد المنظورية، وأنواع الترميز المتاحة لعرض البيئات المكانيّة. وبطبيعة الحال، يمكن أن تكون الخرائط إما تقليدية، وإما رقميّة. وفي كثير من الحالات، تحتوي قواعد بيانات نظم المعلومات الجغرافيّة الرقميّة العديد من الخرائط الموضوعيّة التي يمكن من خلالها التعرف على الأنماط. وقد تكون بعض هذه الأنماط ذات موضوع واحد، في حين لا يُرى بعضها إلا من خلال مطابقتها مع موضوع إضافي واحد أو أكثر. إحدى منهجيات الاستعراض المستخدمة في تقنيات التطابق هي العرض المنظوري (على سبيل المثال، للسطح الطبوغرافي) مع خريطة موضوعيّة أخرى (مثل استخدام الأرض أو الغطاء النباتي) (الشكل رقم ٥,١٥). كما توفر العديد من برامج الاستشعار عن بعد ونظم المعلومات الجغرافيّة طرائقا للعروض المنظورية، في حين أن بعض الحزم البراجية الأكثر تطوراً تشمل، أيضاً، أدوات التحليق؛ ذلك للسماح بتغيير خصائص العرض من حيث المسافة، والارتفاع، والزاوية الرأسية. كما تظهر تقنيات العرض هذه أثر الارتفاع إما على الغطاء النباتي، وإما على استخدام الأرض، ويمكن أن تقترح

بعض أنواع النماذج التنبّؤيّة الجيدة. هذا يوضح ، أيضا ، قيمة بيئة نظم المعلومات الجغرافيّة الغنية بالبيانات التي يمكن من خلالها أداء تحليل استكشافي بسيط للبيانات المكانيّة.



الشكل رقم (١٥,٥). رؤية منظورية لجبل يتطابق عليه غطاء نباتي. يوضح هذا فكرة التقسيم النباتي.

التصوير الجوي

ليس سرا أن العديد من الخرائط قد اُشتقت من تفسيرات التصوير الجوي. فالوصول إلى الصورة الأصلية نفسها ، يتيح ، على أي حال ، للمستخدمين تقرير أيّ الأهداف المطلوب التركيز عليها ، وأيّ الأنماط التي قد تظهر ، بدلاً من الاعتماد على رسامي الخرائط لأداء هذه المهام الهامة لهم. إن مهارات تفسير الصور الجوية يمكن أن تكون مفيدة للغاية في تحديد الأنماط البصرية. فمن خلال استخدام تقييم درجة اللون ، ونوع اللون ، والنسيج ، والمكان ، والارتباط ، والمقياس ، والوقت ، وغيرها من عوامل التفسير ، لن يجعل اكتشاف الأنماط مهمةً سهلةً فقط بل يؤدي ، أيضاً ، إلى اكتشاف السياق الذي توجد فيه هذه الأنماط وذلك بشكل واضح. يعد مثل هذا السياق أمراً حيوياً لعمل روابط وظيفية بين عناصر النمط وبين الطبقات الموضوعيّة.

الصور الفضائية

عند الحاجة إلى تغطية منطقة ذات مساحة أكبر في الغالب من تلك المتاحة ، أو أن تكلفة عملها مكلفة اقتصادياً من خلال التصوير الجوي ، فإن المرئيات الفضائية يمكن أن تكون بديلاً مفيداً. لقد تطور الاستشعار عن بعد

بالأقمار الصناعية تقنياً وفكرياً؛ فمع مجموعة واسعة من الدرجات الطبيعية، والمكانيّة والزمانيّة، والإشعاعية، ونطاق التغطية؛ هناك فرصة كبيرة للحصول على بعض أشكال بيانات الاستشعار عن بعد في مراقبة الأنماط، خصوصاً توفير منظر إجمالي (عام) للمناطق الواسعة (Jensen, 2000). إن فائدة بيانات الأقمار الصناعية لنماذج الأرض والبيئة الحيوية بنظم المعلومات الجغرافيّة، لا يمكن التقليل من شأنها. فالأنماط التي لا تظهر عند المقاييس الكبيرة (لنقل، صورة جوية بمقياس ١ : ٢٤,٠٠٠) قد تكون واضحة بسهولة على مرئية فضائية للاندسات عند مقياس ١ : ١,٠٠٠,٠٠٠.

تتجاوز بيانات الاستشعار عن بعد خاصية الرؤية الإجمالية والتكلفة الأقل إلى أبعد من ذلك، فكونها متوفرة في أشكال رقميّة، فهي تسمح لبرامج التحسين الرقمي الملاءمة استخلاص الأنماط التي لا يمكن رؤيتها بسهولة فعلى سبيل المثال، تحسن المرشّحات العالية الحواف؛ وتقلل المرشّحات المنخفضة الضوضاء أو التشويش، لتسهيل رؤية الأنماط العامة الأخرى؛ وتبرز المرشّحات المتجهية التباين. وهناك مجموعة أخرى من تقنيات تحسين المرئيات صُممت خصيصا لإبراز الأنماط من بيانات الاستشعار عن بعد. تتميز بيانات الاستشعار عن بعد بخاصية إضافية مهمة وهي توفرها المتكرر (درجة الوضوح الزمانيّة). فكلما تكرر توفر هذه البيانات، كان بالإمكان إضافتها، أيضا، إلى قاعدة البيانات الزمانيّة المكانيّة. وبهذه الطريقة، فإن أنماط التغيّر التي بطبيعتها لا تظهر أو تكون مخفية سوف تتكشف بسهولة.

التقنيات الإحصائيّة

تتميز الطرائق الإحصائيّة بأنها من أقوى الأدوات المتاحة للتعرف على الأنماط، وخاصة الأنماط التي ليست مرئية على المظهر الطبيعي، والغريب أنها من بين أكثر الأدوات تجاهلاً، في كثير من الأحيان، من قبل محترفي نظام المعلومات الجغرافيّة. ومن ضمن الخدمات الجديرة بالاهتمام، تلك المتمثلة في مجموعة واسعة من طرائق تحليل الارتباط والانحدار التي يمكن استخدامها لتحديد العلاقات بين المتغيرات. بل إنه حتى المؤشرات الإحصائيّة الوصفيّة البسيطة مثل المتوسط المكاني، والوسيط، والمنوال يمكن أن تظهر الأنماط عن طريق السماح للمستخدم أن يحدّد ملخصات (إحصائية) للبيانات المكانيّة. ومتى ما وُزنت هذه الطرائق فإنها ستكون أكثر فائدة لنظام المعلومات الجغرافيّة ولإدراك النمط المكاني.

يمكن استخدام طرائق أخرى أبعد من مقاييس النزعة المركزية، وهي: مقاييس التشتت (بما في ذلك مقاييس التشتت المكاني، مثل الجار الأقرب، والمركز المتوسط الموزون)؛ والطرائق الإحصائيّة الاستنتاجية، وذلك على عينة من مجموعة البيانات المكانيّة الخاصة بك لتحديد إمكانيّة وجود أنماط في مجموعات البيانات الأكبر. تعد هذه المنهجيات وسائل ممتازة لوضع نماذج أولية سريعة وتشخيص الأنماط لمناطق دراستك الأكبر ومجموعات بياناتها. كما

تحسن كفائتك التحليلة الإحصائيّة قدرتك على تحديد الأنماط، سواء كانت فردية أو مجتمعة. والأهم من ذلك، هو أن الاختبار الإحصائي يعد أسلوباً ممتازاً لتحديد تفاعلات العوامل المكانيّة مسبقاً والتي سوف تُستخدم في نماذجك العشوائية بنظم نظم المعلومات الجغرافيّة.

إدراك التفاعلات المكانيّة للمشكلة: من النمط إلى العمليّة

إن من بين أهم المهام التي سوف نحتاج إلى تنفيذها قبل القيام بعمليّة النمذجة هو وضع فرضيات للعمليات (Processes) المحتملة المتعلقة بالأنماط التوزيعية التي نلاحظها. فقد نبدأ، في بعض الحالات، بمحاولة تحديد العمليات الكامنة التي أوجدت الأنماط، في حين أننا، في حالات أخرى، قد نحاول تقييم الآثار لأنماط قائمة على عمليات جارية. ويتطلب تقييم أي منهما أن نذهب إلى ما وراء القدرة على التعرف على وجود تلك الأنماط وأن نبدأ بوصف ما يوجد من أنماط. سوف نحتاج إلى أن نصف الأهداف هندسياً كل على حدة، إضافةً إلى التنظيم المكاني لمجموعات الأهداف. فتوفر لنا مقاييس الحجم النسبي والمطلق، والتوجيه، والدوران، والإتصالية، والعزلة، والتشتت، والكثافة، والشكل، والسلامة المكانيّة، وكثير من الصفات الأخرى مؤشرات توصيفية قابلة للقياس للأنماط التي نلاحظها. قد يتم التقييم من خلال دراسة الأبعاد الهندسية والتنظيمات ضمن الخريطة الموضوعيّة الواحدة، أو من خلال مقارنة الكيانات أو الظواهر بين خريطتين موضوعيتين أو أكثر. يمكن أن تتفاعل الأهداف النقطية والخطّيّة والسطحية والمساحية جميعها مع بعضها، وغالباً ما تكون هذه التفاعلات هي ما نحاول أن ننمذجه بنظم المعلومات الجغرافيّة. وعند هذه النقطة، فإنه من الحكمة استعراض القدرات الوظيفيّة لنظم المعلومات الجغرافيّة لمثل تلك المهام من خلال الإطلاع على المراجع التمهيدية حول الموضوع (على سبيل المثال، (Chrisman, 1997; Clarke, 1999; DeMers, 2000a; Heywood et al., 1998).

ومثلما قد تتوقع، هناك الملايين من الأهداف المختلفة جداً، بل وملايين المجموعات المؤلفة، والتشكيلات المحتملة للأبعاد الهندسية والتنظيمية لهذه الأهداف. إذن، كيف نتوقع أن نعرف أو حتى نلخص جميع ما يمكن من الأسباب والآثار لمثل هذه الحالات العديدة جداً؟ مع هذا السؤال المطروح على هذا النحو، فإن الإجابة البسيطة هي: لا نستطيع. لكننا يمكن أن نضع بعض التعميمات حول الأشكال الهندسية والتنظيمات المحدودة التي نستطيع أن نصفها. هذا هو صميم العمل الجغرافي وراء نظم المعلومات الجغرافيّة - القدرة على الملاحظة، والوصف، وتقييم تفاعلات أهداف الأرض، وصفاتها، وساكنيها وحيزهم الجغرافي. كما توفر لنا الأمثلة فرصة لتدريب تفكيرنا المكاني، خاصةً فيما يتصل بالعلاقات بين الأنماط المكانيّة والعمليات السببية أو الناتجة. انظر إلى الجدول رقم (٥,١) الذي يسرد عدداً قليلاً فقط من الاحتمالات العديدة.

لاحظ كيف أن لكل هدف بعداً مكانياً (نقطة، خط، مساحة، أو سطح)، وخاصيةً قيد الدراسة (على سبيل المثال، حجم (Volume)، وانحدار، وواجهة الانحدار، وأبعاد (Size)، وتوجيه)، ومقياساً محدّداً مرتبطاً بهذه

الخاصية، وسبباً محتملاً، وأثراً متوقعاً. يمكن النظر إلى السبب بوصفه فرضيةً للأسباب الكامنة وراء تطور الأنماط. ولكونها فرضية، ينبغي أن تكون قابلة للاختبار، على الأقل إزاء عمليّة عشوائية معينة (وهي فعلياً، فرضية العدم). وهنا، يكون الاختبار الإحصائي فعالاً جداً في تحديد العلاقات الوظيفيّة بين الأنماط القائمة والعمليات السابقة. هذا ويمكن اتباع منهجاً مماثلاً في دراسة الآثار للأنماط القائمة على العمليات الجارية. وفي كل حالة، يتم اختبار النمط في ظل عمليّة ناتجة يمكن ملاحظتها. فعلى سبيل المثال، إذا كان الطول الإجمالي للسياج يتزايد، فإن الفرضية المعقولة، هي أنه سوف يكون هناك زيادة في أعداد الأنواع أو الأجناس الحافية (المهددة بالانقراض) التي تفضل الحواف، قابلة للقياس، والتنبؤ (DeMers, et al., 1996). ستكون فرضية العدم، إذن: لن يكون هناك زيادة في الأجناس الحافية. يدل هذا، مرة أخرى، على فائدة تطبيق الاختبارات الإحصائيّة لتوفير معرفة عمليّة للعلاقات الوظيفيّة بين النمط والعمليّة قبل إنشاء نموذج بنظم المعلومات الجغرافيّة.

الجدول رقم (٥,١). بعض الأهداف التي توضح الأبعاد المكانيّة القابلة للتحديد، الخصائص القابلة للقياس، والعلاقات بين السبب والنتيجة.

البعد المكاني	الهدف (الظاهرة)	الخاصية	المقياس	السبب	النتيجة
سطح	كتلة هبوط أو انهيار كبير	حجم	قياس التشكل (مرفومتري)	الجاذبية/مُدخلات السوائل/ الضغط	انحدار غير ثابت
سطح	حيد أو حرف طبوغرافي	انحدار وواجهة الانحدار	درجات زاوية/ زاوية السمت	رفع	غطاء نباتي شمالي مقابل جنوبي
مساحة	رقعة غابية	أبعاد	محيط/مساحة	تطهير غابي	تفاعل مع بيئة المكان
مساحة	رقعة غابية خطّيّة	اتجاه	زاوية السمت للمحور الطويل	ممر نهري	مبيت للطيور المهاجرة
خط	سياج	إمتداد	طول	بشري	حركة حيوانية
خط	شبكة طرق	إتصالية	مؤشر ألفا	بشري	تدفق الحركة المرورية
نقطة	حفر قوارض	كثافة	العدد في الوحدة المساحية	استيطان	تنافس
نقطة	أشجار فواكه	تنظيم	الجار الأقرب	زراعة	كفاءة المحصول

لا ينفي هذا، بطبيعة الحال، إمكانيّة استخدام نظم المعلومات الجغرافيّة نفسها لاختبار هذه الفرضيات. إن تطبيق الاختبارات الإحصائيّة ضمن نظم المعلومات الجغرافيّة باستخدام مجموعة فرعيّة صغيرة من بيانات موضوعيّة تجريبيّة يعد، في الحقيقة، أسلوباً فعالاً باستخدام هذه النظم، باعتبارها أداة اختبار إحصائي استنتاجي. وحالما يتم إنشاء العلاقات المكانية لعينة من البيانات ومعرفة حدود الثقة الإحصائيّة، يمكنك - بعدئذ - تطبيق النموذج لكامل قاعدة البيانات، على أساس العلاقات التي تم تحديدها. يزوّدك هذا، أيضاً، بمقياس لحدود الثقة لنموذج نظم المعلومات الجغرافيّة نفسه الخاص بك. ومن الأمثلة التي أصبحت اليوم أمثلة تقليدية في استخدام نظم المعلومات

الجغرافيّة الخلويّة في تطبيق النماذج الإحصائيّة التنبّويّة ذلك المثال الذي قدمه توملن (١٩٨١م)، وهو نموذج كسر الأخشاب. فمن خلال تطبيق معادلة الانحدار ضمن برنامج "حزمة التحليل الخرائطي" (MAP)، وسّع توملن في معادلة الانحدار لتشمل المجال المكاني، ومن ثمّ التخلص من ضرورة تطبيق اختبار الانحدار قبل تطبيق نظم المعلومات الجغرافيّة.

بالرغم من أن هذه المناقشة الوجيزة للتحليل الإحصائي لا تحصر جميع الطرائق الممكنة التي يمكن من خلالها إجراء اختبارات - إلا أنها تشير إلى أهمية تحديد العلاقات الوظيفيّة بين الأنماط داخل النمذجة بنظم المعلومات الجغرافيّة أو قبلها. يمكن استخدام أدوات مثل النمذجة اللوجستية بطريقة Logit، وتحليل حساسية التباين[1] (Sensitivity Analysis)، والارتباط الذاتي لتحديد وقياس العلاقات الوظيفيّة (على سبيل المثال، ,Algami 1996, Clark, et al., 1993, Johnston, 1992; Lowell, 1991, Pereira and Itami, 1991). إن قدوم مجموعة سريعة النمو من الموصّفات المكانيّة، خصوصاً تلك الموجودة في البيئة الحيوية للمظهر الطبيعي، ورسم خرائط الرعاية الصحية، ومراجع التحليل المكاني للجريمة، قد دفعت بنفس القدر تزايداً في الحاجة إلى التعرّف على أسباب ونتائج هذه الأنماط وتحديدها كمياً. تعد المقاييس الكمية للنمط الخطوة الأولى التي لا بد منها، ولكن دون ربطها بالسببية، لن نكون قادرين على بناء نماذج نظم معلومات جغرافيّة للواقع بشكل فعال، سواء كانت مصممة لوصف حالة معينة أو التنبؤ بحالات جديدة.

أنواع نماذج نظم المعلومات الجغرافيّة

مقدمة

ينبني تصنيف نماذج نظم المعلومات الجغرافيّة، مثل تصنيف أي شيء، على مجموعة من المعايير المختارة مسبقاً. وهناك عدة طرائق لتصنيف نماذج نظم المعلومات الجغرافيّة إلى درجة أن كثرتها يمكن أن تصبح مربكة جداً. لقد فصل بيري (١٩٨٧ - ١٩٩٧م)، في الحقيقة، النماذج المكانيّة من النماذج الخرائطيّة، في حين أن العديد من المؤلفين لم يفعلوا ذلك. لا أهدف، هنا، إضافة مزيداً من الإرباك لمهامك النمذجية التي هي معقدة بما فيه الكفاية من خلال إنشاء مجموعة أخرى من التصنيفات، وإنما لدراسة بعض المصطلحات الأساسية التي يجري استخدامها بين منمذجي نظم المعلومات الجغرافيّة بحيث تستطيع أن تتواصل معهم بشكل فعال. وبالإضافة إلى ذلك، سوف توفر التصنيفات هيكلاً لمهام النمذجة من خلال وصف طرائق النمذجة المختلفة جداً، سواء كان ذلك على أساس الغرض أو الهدف المُختار، أو المنهجيات المتباينة، أو على أساس منهجيات المنطق العلمي التي تختلف في الغالب اختلافاً جوهرياً. من المهم أن نلاحظ أنه على الرغم من أن بعض هذه التصنيفات فريدة - إلا أن العديد منها

---

(١) اختبار يبين حساسية التحليل للتغيرات الطفيفة أو الدقيقة في البيانات. (المترجم)

تتداخل وتختلط، مما ينتج منه صعوبةً نسبيةً في إنشاء تصنيف هرمي مثل الذي حاول أن يقدمه توملن (١٩٩٠م) في البداية. يمكن أن يُخفف هذا التشويش بشكل أفضل عن طريق تحديد الفائدة النسبية لكل طريقة تصنيف ومعالجة، كل طريقة على حدة، مثلما اقترح بيري (١٩٩٥م) من قبل. تستخدم الفقرات التالية هذا المنهج، إذ تقدم اعتبارات هامة للنمذجه داخل كل فئة من فئات النماذج. فينبغي عليك أثناء قراءتها أن تخصص وقتاً أقل للتصنيف نفسه، والتركيز على المهام النمذجية وعمليات التفكير الملازمة خصيصاً لكل واحدة منها. لقد قصرتُ تصنيف نماذج نظم المعلومات الجغرافيّة على ثلاث منهجيات أساسية: (١) الغرض؛ و(٢) المنهجيات أو التقنيات؛ و(٣) المنطق. مرة أخرى، تذكّر أن أياً من هذه التصنيفات يعد تصنيفاً مستقلاً تماماً عن الآخر.

النماذج القائمة على الغرض

إذا كان هناك تسلسلاً واحداً للمهام النمذجية بنظم المعلومات الجغرافيّة يحضى بقبول جيد، فالأرجح أنه ذلك الذي يبدأ أساساً بالتركيز على الهدف العام الذي سوف يُبنى عليه إنشاء النموذج. وكما هو الحال في معظم طرائق التصنيف، فالنموذج المبني على أساس الغرض أو الهدف ليس نموذجاً منفصلاً، ولا ثنائياً، وإنما يبيّن الحدود القصوى لسلسلة متصلة من الأنواع المحتملة. فلدينا على أحد طرفي النقيض، نماذج هدفها الوحيد الوصف، تسمى بالنماذج الوصفيّة (Descriptive). وفي المقابل، على طرف النقيض الآخر، هناك نماذج نظم المعلومات الجغرافيّة التي هدفها أن تقرّر أو توصّف أفضل الاستخدامات للأراضي والموارد الموجودة بناءً على تقييم الظروف المعروفة أو التي يمكن تنبؤها، وتسمى هذه النماذج بالنماذج الموصِّفة (Prescriptive). وبالرغم من أن هذين النوعين هما من النماذج المنفصلة كما يبدو، مع العلم أن كل منهما لا تقل سلسلة أنواعه عن الآخر - إلا أنه يبدو أن كليهما أصبحا مقبولين كأكثر نوعين أساسيين من نماذج نظم المعلومات الجغرافيّة في المراجع. سنبدأ مع النوع الأول الذي يعد في الغالب أكثر بساطة من الاثنين - الوصفي - ثم نتوسّع في التفصيل لنصل إلى النماذج الموصِّفة.

النماذج الوصفيّة: تتميز النماذج الوصفيّة، وكما يفهم من اسمها، بأنها نماذج سلبية (غير فاعلة)، وتهدف في الأساس إلى تقديم وصف لكامل منطقة الدراسة أو أجزاء منها قيد البحث. فيمكن أن يكون الوصف بسيطاً أو معقداً، وحيداً أو متعدد المواضيع، بحيث يكون خطوة تحضيرية للنموذج النهائي، أو يكون حلاً بذاته. يصعب أحياناً فصل مصطلح نموذج نظم المعلومات الجغرافيّة الوصفي عن أنواع النماذج الأخرى؛ لأن الخريطة نفسها تصف، في كثير من الأحيان، من خلال طرائق مكانيّة صريحة، الأحوال في الواقع كما هي، أو ما يمكن أن تكون أو يجب أن تكون عليه في هذا الواقع. ويعتمد المصطلح، بدرجة أكبر، على الغرض الذي من أجله سوف تستخدم الخريطة المُخرجة، أو الرسم البياني، أو أي مُخرج نهائي آخر، أكثر من اعتماده على المُخرج نفسه. وعليه، فإن النماذج الوصفيّة تصف الحالات أو الظروف الموجودة. وبعبارة أخرى، إنها تجيب، في معظم الأحيان، عن سؤال "ما هو"، بدلاً من سؤال "ماذا يجب أن يكون". وفي بعض الحالات، قد يصف النموذج الوصفي الظروف التي ربما تناسب،

أيضاً، الاستخدامات الإنتقائية للأرض. وفي مثل هذه الحالات، قد يجيب النموذج الوصفي عن سؤال "ماذا يمكن أن يكون"، وذلك ببساطة من خلال وصف ما يمكن أن يكون ملائماً، بدلاً من وصف الاستخدام الفعلي.

تحاول النماذج الوصفيّة، وذلك في أبسط أشكالها، أن تحدّد كميا الخريطة الموجودة، أو مجموعة من الخرائط على أساس العمليات الوظيفيّة التي بحثناها في الفصل الرابع. ففي الحالة الأولى، يحاول هذا النوع من النموذج وصف مكونات الخريطة أو الخرائط هندسياً. وقد يتراوح الوصف الهندسي، هنا، من المقاييس البسيطة للطول، والعرض، والمحيط، والمساحة، والدوران، وغيرها الكثير، إلى أكثر المقاييس تعقيداً وتكاملاً، مثل نسب المحيط إلى المساحة، وقياسات الجار الأقرب، والعزل أو الفرز، وغيرها الكثير من قياسات التركيب البنائي (الطبولوجي) المتأصلة في الوثائق الخرائطيّة. كثير من هذه المقاييس قد سبق الحديث عنها في هذا الفصل. وتكمن أهمية الوصف أو القياس الكمي الهندسي للخريطة في كونه يتيح لنا فرصة لعزل أو فرز الأنماط داخل الخريطة كلها ؛ لاكتشاف الأنماط التي لن تكون مرئية بدون قياس كمي ؛ أو لمقارنة الأنماط من خريطة إلى أخرى، أو من جزء واحد من الخريطة إلى جزء آخر. ولأن كل نمط هو نتيجة لعمليّة جارية واحدة أو أكثر، فإن وصف النمط يساعدنا، أيضاً، في اكتساب فهم أعمق لهذه العمليات. غالباً ما تُستخدم أنماط التشتت، على سبيل المثال، لربط النمط بالعمليّة. كما تنتج أنماط التشتت المتكتلة، في معظم الأحوال، من العمليات غير العشوائية، وهذا يشبه، أيضاً، أنماط التشتت المنتظمة، مثلما قد يجد المرء في أحد البساتين أو المحاصيل البعلية، في حين أن الأنماط العشوائية تكون، في أغلب الأحيان، نتيجة عمليات احتمالية أو عشوائية من الناحية الإحصائيّة. قد تتصل هذه الأنماط، والعمليات المرتبطة بها، أيضاً، بأنماط أخرى في مواضيع أخرى، كما أن العمليات التي شكلت الأنماط الإضافية يمكن، أيضاً، أن يكون لها صلة بالأنماط الأصلية (الأولى).

إن من بين أقوى القدرات للنماذج الوصفيّة هي قدرتها على الذهاب إلى أبعد من مجرد التوصيف الهندسي، لتشمل دمج أو توليف البيانات المكانيّة التي غالباً ما تكون متباينة. وعليه يمكن، أيضاً، أن يُسمى النموذج الوصفي، في هذا السياق، بالنموذج التوليفي (Synthetic)، وذلك ليس لأنه يحاول أن يصف حالة أو وضعاً معيناً من خلال دراسة عنصر خرائطي واحد أو حتى خريطة واحدة، بل لأنه كثيراً ما يدمج مواضيع متعددة لتقييم العلاقات المكانيّة المحتملة. يتم في المنهج التوليفي الجمع بين المواضيع المتتالية، جمع واحد في كل مرة، ثم تُحدّد في كل عمليّة جمع درجة الترابط المكاني الذي قد يظهر من خلال الوصف الشامل للأوضاع القائمة. كما تعد النماذج الوصفيّة دعامة أساسية في المجتمع العلمي، فالتدريب العلمي يتطلب من العلماء أن يتابعوا نمطاً معيناً للسلوك، ويطلق على هذه المنهجيّة بالأسلوب العلمي، فيبدأ أولاً بملاحظات الأنماط، السبب الذي سيصبح فيما بعد فرضية، ليتم – بعد ذلك – اختبارها بدقة، وربما تتطور إلى نظرية أو تصبح قانوناً علمياً إذا اتسمت بالثبات. ورغم أن نظم المعلومات الجغرافيّة، بوضعها الحالي، ليست أداة جيدة لاختبار الفرضيات بالذات – إلا أنه يمكن تكييفها لتصبح أداةً لعمل فرضيات مكانيّة قابلة للاختبار (Aspinall, 1994).

يعد النوع التفكيكي (Deconstructive) بديلاً آخراً للنوع التوليفي للنموذج الوصفي. فقد يكون من المفيد، عند تحديد حساسية بعض العوامل في نموذج وصفي ما، أن نعزل عاملاً واحداً في كل مرة، ثم تدرس تأثير ذلك على النتيجة النهائيّة. يشبه هذا التراجع التدريجي إلى الوراء نمذجة الانحدار، على عكس التدرج إلى الأمام. وفي هذا الانحدار التدريجي العكسي، يحاول الباحث أن يستبعد متغيرات مستقلة فردية بعينها للتأكد من أثر كل متغير على معامِل الانحدار النهائي للنموذج. ورغم أن المُخرج النهائي من النماذج الوصفيّة في نظام المعلومات الجغرافيّة ليس مُعامِلاً (Coefficient) في الوقت الحالي - إلا أنه من الممكن على الأقل معرفة إمكانية التوافق المكاني لبعض المتغيرات المكانيّة الخاصة، من خلال استخدام اختبار بسيط للتوافق المكاني (Muerhcke and Muerhcke, 1999). وكما هو الحال، بالطبع، مع التحليل الإحصائي للانحدار والارتباط، فإن مجرد وجود التوافق المكاني لا يعني وجود علاقة سببية، وكل ما يبيّن هو ببساطة أن بعض المتغيرات المختارة تحتل جزءاً من نفس الحيز الجغرافي. مثل هذه التوافقات المكانيّة يمكن أن تشير بدرجة كبيرة إلى علاقة ما، هذا بشرط أن تُختار بعناية (Sauer, 1925).

النماذج الموصّفة: يوجد على الطرف الآخر من سلسلة التصنيف نموذج أكثر فاعليّة وهو النموذج الموصّف (Prescriptive). يهدف هذا النموذج، في أنقى صوره، إلى اقتراح الحل الأمثل للمشكلات التي لا يكفي معها وصف الأوضاع القائمة كطريقة مساعدة في اتخاذ القرار (Tomlin, 1991). ويشبه هذا عمل الطبيب، فهو يصف الأعراض الأولية لمرض أو أي حالة طبية أخرى، ثم يقوم بعد أن يشخِّص هذه الأعراض (يسند اسماً للمرض، في الغالب) بالخطوة التالية وهي إعطاء وصفة طبية بأفضل دواء أو علاج للشفاء من هذه المشكلة، وعليه فإن خطوتنا التالية هي أن "نوصِّف" أفضل حل للمشكلات الجغرافيّة. قد تنطبق مثل هذه السيناريوهات في نظم المعلومات الجغرافيّة أكثر على الإجابة على تلك الأسئلة مثل: (١) ما هو الموقع الأفضل لإقامة مصنع؟ (٢) أين المكان الأكثر احتماليةً للعثور على قاتل محترف؟ (٣) ما هو المكان الأنسب لإعادة صقور الأبلومادو في الجنوب الغربي للولايات المتحدة؟ ويمكن القول باختصار، أن النموذج الموصّف هو أكثر ارتباطاً بالإجابة على السؤال من نوع "ماذا يجب أن يكون".

لا يوجد هناك حل مثالي دائماً لمسألة بعينها، وذلك أياً كانت الوصفة. وفي هذه الحالة، هناك منهجيتان عامتان. الأولى، هي أن نختار أفضل الحلول على أساس أفضل البيانات المتاحة، والمعوقات الموجودة حالياً أو يُتوقع أن توجد (في حالة كون النموذج تنبؤياً). هذا النوع الأول هو الأكثر استخداماً عندما تكون القيود الفردية الدافعة للنموذج شروط بوليانية (ثنائية)، أو أن النموذج يقتصر على هذا النوع من الشروط (أي، تربة جيدة مقابل تربة سيئة، أو تقسيم جيد مقابل تقسيم سيء). ومع أن هذه النماذج هي فعلاً نادرة بدرجة كبيرة - إلا أنها غالباً ما تُنفذ في غياب عوامل محدّدة ذات مجموعة من الشروط. كما تتشابه المنهجيّة الثانية مع الأولى، غير أنها توفر مجموعة من الحلول الممكنة، يتناسب بعضها مع معايير معينة أفضل من غيرها. إن أفضل تطبيق لهذه النمهجية هو متى ما توفرت معلومات إضافية حول الشروط لكل عامل يحتوي عليه النموذج. ولأن هناك مجموعة من التقديرات والأوزان للعوامل الممكنة، فإن هناك مدى أوسع لتأثيرات العوامل، ومن ثمّ فرصة أكبر للحصول على حلول فعالة، وإن لم

تكن مثالية. وبهذه الطريقة، فإذا حدث أن شيئاً من السطلة الاقتصادية أو السياسية غير المنظورة أو المتوقعة حالت دون استخدام الموقع الأفضل (الذي حدّده النموذج)، فإن هناك مواقع أخرى متاحة يمكن استخدامها.

إن من أهم خصائص النماذج الموصِّفة هي قدرتها على استنباط الحل، وليس فقط وصف ما هو كائن بالفعل. وعلى هذا النحو، فإن النموذج الموصِّف يميل إلى أن يكون أكثر براعةً في التنبؤ. وبعبارة أخرى، إذا كان لديك نموذج نظم معلومات جغرافيّة تنبؤي، فالراجح أنه سيكون نموذجاً موصِّفاً أكثر منه وصفياً. لكن هذا لا يمنع نماذج نظم المعلومات الجغرافيّة الوصفيّة من أن تحتوي على بعض يسير، على الأقل، من السمات التنبّؤيّة. لكن من المهم، أيضاً، أن نفهم أنه ليس كل النماذج الموصِّفة نماذج تنبّؤيّة، فبشكل عام، حتى يكون النموذج تنبؤياً بالفعل (موصِّفاً)، فإنه من المهم جداً أن تكون العمليات التي تربط بين المواضيع مفهومة بشكل كامل وصريح. تحتوي هذه النماذج، في الغالب، على بعض العناصر الديناميكيّة، أيضاً، وقد تتطلب هياكل خاصة لقواعد البيانات (على سبيل المثال، الآليات أو الروبوطات الخلويّة) أو حتى معالجات حاسوبية خاصة للأنواع الأكثر تعقيداً (Costanza and Maxwell, 1991). ربما من الأمثلة التقليديّة للخرائط التنبّؤيّة الديناميكيّة هي تلك التي تشمل التشتت أو حركات (انتقال) الأفكار، أو المخلوقات، أو العمليات، وتعد نمذجة الحرائق من بين أبرز النماذج التنبّؤيّة المعروفة والواضحة.

لقد فصل توملن، في نموذجه الأصلي، النماذج الموصِّفة إلى نوعين: كلّية (Holistic) مقابل تجزيئية (Atomistic). فالنماذج الكلّية هي تلك التي تقيّم سيناريواً معيناً برمته، وتتطلب فهماً كاملاً لجميع العمليات والمحتويات الموضوعيّة للخريطة. هذه نماذج نادرة، ويرجع ذلك جزئياً إلى أن هناك قليل من الحالات التي تكون فيها كل التعقيدات للنظم (الطبيعية) مفهومة فهماً كاملاً، وجزئياً إلى كون التحقق والتثبت منها صعب جداً. أما أكثر أنواع النماذج الموصِّفة شهرة فهو النوع التجزيئي الذي يفصل عمليات النموذج وموضوعاته إلى فئات ومجموعات وظيفية. وبحكم طبيعته، فهو نوع من أنواع نماذج نظم المعلومات الجغرافيّة الموصِّفة الذي يتيح نفسه بسهولة للتقسيم إلى أجزاء وحدويّة، إذ ينتقل في طريقة عمله من خطوة إلى أخرى، عازلا في كل مرحلة العناصر الفردية. وبسبب ذلك، فإن عمليات التصوّر، والصياغة، والتخطيط، والتنفيذ، والتحقق والتثبت تكون أسهل بكثير بهذه الطريقة.

يمكن تقسيم النماذج التجزيئية الموصِّفة بدورها إلى فئتين إضافيتين: إرشادية أو موجِّهة (Heuristic) وخوارزمية (Algorithmic). يتطلب النموذج الإرشادي إما استجماع خبرة سابقة، وإما تجربة عمليّة غير قياسية. هذه الأنواع من المعرفة التجريبيّة كثيراً ما تفتقر إلى التوثيق، ونادراً ما تُصاغ صياغة علمية منهجيّة، كما أن الحصول عليها صعب جداً. لقد تحدثنا في وقت سابق عن استخدام استراتيجيات اكتساب المعرفة للحصول على معلومات حول النمذجة بنظم المعلومات الجغرافيّة، ولأن هذا هو النوع التقليدي لنموذج نظم المعلومات الجغرافيّة الذي يتطلب هذه المعرفة، فإنه يستلزم استراتيجيات فريدة لاكتسابها. وللحصول على هذه الإرشادات، فإن الواحد، في الحقيقة، يحتاج في أغلب الأحيان إلى صياغتها في شكل وصفة منهجيّة مفصلة بوضوح لعمليّة صنع القرار. وبعبارة أخرى، تصبح معالجة النماذج الإرشادية فعلياً أسهل إذا حُوِّلت إلى نماذج خوارزمية.

تأخذ النماذج الموصّفة الخوارزمية، في معظم الأحيان، شكل مجموعة من القواعد التي تربط العناصر بوضوح لكل خريطة موضوعيّة. فتربط هذه العناصر والخرائط في ترتيب أو تسلسل محدّد، عادةً، في شكل تسلسل هرمي، فهو بالإضافة إلى كونه يمثّل العمليات كما هي في الواقع الحقيقي، فإنه، أيضاً، يسمح بعكس العمليّة بهدف التحقق من النموذج. وفي حقيقة الأمر، تحدّد هذه الخصائص إلى حد ما تعريف نموذج نظام المعلومات الجغرافيّة -مجموعة مرتبة من العمليات الخرائطيّة صُممت بهدف تمثيل بيئات العالم الحقيقي.

النماذج القائمة على المنهجيّة

كما هو الحال تقريباً مع جميع أنواع النماذج الأخرى، فإن منهجيّة النماذج الخرائطيّة تكون إما عشوائية (على أساس الاحتمالات الإحصائيّة) (Stochastic)، وإما قطعية (Deterministic) (على أساس روابط وظيفية وتفاعلات معروفة). تربط النماذج العشوائية بين المعايير الإحصائيّة التي تُستخدم، في معظم الأحيان، مع نماذج أخرى غير تلك الخاصة بنظم المعلومات الجغرافيّة. فعلى سبيل المثال، النماذج المبنيّة على المقاييس الإحصائيّة الخاصة بالنزعة المركزية هي نماذج مُوجهة بالضرورة بنظرية الحد المركزي (Central limit theorem). كما يُعد تحليل الانحدار أحد امتدادات هذه النظريّة للنمذجة التنبّؤيّة، ومن الأمثلة التقليديّة لذلك نموذج توملن (١٩٨١م) بنظم المعلومات الجغرافيّة الخاص بكسر الأخشاب أثناء الحصاد، حيث يستخدم النموذج معادلة الانحدار على أساس خلية بخلية. هذا نموذج انحدار مكاني بالفعل. ومن الأمثلة الأخرى للنمذجة العشوائية مثال استخدام الانحدار اللوجستي (انحدار فئوي) للتنبؤ بوجود أو غياب المخلوقات في بيئة معينة. تشمل مثل هذه النماذج تلك التي تتعلق بدراسة السناجب (Pereira and Itami, 1991)، والدببة (Agee, 1989; Clark et al., 1993)، والأغنام الصحراوية ذات القرون الطويلة (Dunn, 1996)، والغزلان (Chang et al., 1995)، والطيور (Miller et al., 1989)، وكل منها يشرح بالأمثلة كيف يمكن ربط التقنيات الإحصائيّة مع وظائف أخرى خاصة بنظم المعلومات الجغرافيّة.

وبالرغم من أن نماذج نظم المعلومات الجغرافيّة العشوائية تفترض أن توزيع الأشياء يقوم على أساس الاحتمالية الإحصائيّة - إلا أن النماذج الحدية أو القطعية تفترض وجود روابط وظيفية مباشرة. ومن الأمثلة الجيدة لهذه النماذج الحدية تلك التي تشمل التنبؤ بالتدفق المائي (Chase, 1991)، وتقييم التلوث (Gros et al., 1988; Haddock and Jankowski, 1993)، ونمذجة انجراف أو فقدان التربة باستخدام معادلة انجراف التربة العامة (Battad, 1993)، وهي نماذج مفيدة لمعرفة كيف يمكن نمذجة المعرفة البيئيّة باستخدام هذه الطرائق الحدية. إن الاعتبار الأول لهذه النماذج وجميع النماذج الحدية هو أنه يوجد علاقة سببية (السبب والنتيجة) محدّدة تحديداً جيداً ويمكن إدراكها بوضوح.

النماذج القائمة على المنطق

لقد قمنا بفحص كيف يمكن أن تُبنى نماذج نظم المعلومات الجغرافيّة على الغرض أو الهدف وكذلك على المنهجيه المطبقة في إنشائها، لكن أسلوب المنطق (Logic) الذي يُطبق في الإطار المفاهيمي للنموذج وصياغته يُعتبر، أيضاً، أساسياً بالمثل. يوجد شكلان أساسيان للمنطق يستخدمان بشكل تقليدي: استقرائي (Inductive) واستدلالي (Deductive). تحاول الطريقة الاستقرائية أن تبني نماذج عامة استناداً على بيانات أو حالات فردية، فعلى سبيل المثال، فمن خلال جمع البيانات والمعلومات أو الحصول عليها حول طبيعة البيئة السكنية للأسود الجبلية في عدد من المواقع الفردية، وتلخيص تلك الظروف المحليّة، يمكن للمرء أن يبدأ بعمل نموذج عام للاستخدام السكني للأسود في إقليم أو منطقة معينة.

وباختصار، فالمنهج الاستقرائي ينتقل من عناصر أو حالات محدّدة إلى نموذج عام، ويتطلب ذلك، عادةً، استخدام العديد من الاختبارات التجريبيّة لقياس جدوى كل عامل، وعادةً ما يستخدم في ذلك منهجيّة التجربة والخطأ.

يكون هذا المنهج، عادةً، مفيداً إذا كنّا غير مدركين للقوانين أو الشروط العامة التي في إطارها يعمل موضوعنا (ظاهرتنا) أو مواضيعنا. وفي بعض الظروف، وخصوصاً ضمن بيئة غنية بالبيانات، يمكن تحديد كثير من تفاعلات العوامل المهمة التي لم تكن معروفة من قبل من خلال منهجية استقصاء المعلومات من البيانات (Data mining). قد تكون الطريقة الاستقرائية للبعض محيرة إلى حد ما وذلك كونها تلغي عمليّة اختبار الفرضية التي نعرفها في المنهج العلمي. هذا ليس صحيحاً، على أي حال، لأن كل عامل من العوامل المستخدمة يتم اختباره. أما تميز هذا المنهج على المنهج الاستدلالي فهو أننا قليلاً ما نعرف فعلياً كيف تعمل كل العمليات في الواقع وذلك لكثير من البيئات النمذجية.

من جهة أخرى، تتميز النماذج التي تستند على المنطق الاستدلالي بأنها واضحة ويمكن فهمها بسهولة، كما أنها برمجية (خوارزمية تجزيئية) بحتة أكثر بكثير من النماذج الاستقرائية. ينتقل المنطق الاستدلالي من العام إلى الخاص. وفي النمذجة بنظم المعلومات الجغرافيّة، يعني هذا أننا نملك قدراً كبيراً من المعرفة الأولية حول ما هي العوامل الهامة، وكيف تتفاعل، وأيها أكثر أهمية قبل أن نتصور النموذج، ونصيغه، ونخطط سير عمله بل حتى قبل أن نطبقه.

ولعل أفضل النماذج المرشحة لهذا النوع من النمذجة هي تلك التي لديها بالفعل إلى حد ما مجموعة منهجيّة من المعايير، وأوزان مُسندة لكل منها، وبيانات خرائطية موضوعيّة تمثّلها، ومواصفات قياسية لكيفيّة الجمع بينها، مثل النماذج الخوارزمية المتمثّلة في النموذج الجمعي البسيط لتقييم الأرض وتقدير الموقع (نموذج ليسا) (Williams, 1985)، والنموذج المبني على الإحصاء الخاص بكسر الأخشاب أثناء الحصاد (Tomlin, 1981)، والنماذج التي تستخدم المعادلة العامة لانجراف التربة (Battad, 1993). إن نماذج نظم المعلومات الجغرافيّة التي توظف الموجود من

النماذج غير المكانيّة الإحصائيّة أو الرياضيّة ثم تضيف البعد المكاني من خلال استخدام نظم المعلومات الجغرافيّة الخلويّة لهي من الأمثله الأكثر وضوحاً، مع العلم أن بعضها قد يكون معقداً جداً. بل يتطلب بعضها تطبيق المعالجات الحاسوبية المتوازية لاتمام حساباتها (Costanza and Maxwell, 1991)، ومع ذلك فإن فهمها ما يزال أكثر سهولة مقارنة مع العديد من أنواع النماذج الاستقرائية الأقل خوارزمية. في الحقيقة، تعد النماذج الاستدلالية – حتى المعقد جداً منها – أسهل تفسيراً وشرحاً للعملاء، ومن ثم فإن عمليّة التحقق منها وإثبات صحتها أسهل بكثير من نماذج نظم المعلومات الجغرافيّة الاستقرائية.

مراجعة الفصل

تكمن المهارة الأساس للنمذجة بنظم المعلومات الجغرافيّة في القدرة على إدراك وتحديد وتفسير الأنماط الجغرافيّة، بمعنى أنها تتطلب تفكيراً مكانياً. يمكن استخدام نموذج نظام المعلومات الجغرافيّة لتقييم ووصف أو الجمع إما بين الأنماط المرئية (تلك الواضحة بسهولة)، وإما بين الأنماط الوظيفيّة (تلك التي يمكن أن تكون مرئية فقط من خلال طرائق خاصة لجمع العينة أو أدوات متميزة للملاحظة). وتشمل الأدوات الرئيسة لتحديد الأنماط زيارات ميدانية، والإطلاع على الدراسات والبحوث السابقة، والمقابلات، والطرائق الأخرى المتعلقة بهندسة المعرفة، وفحص أو دراسة الخرائط، والصور الجوية، والمرئيات الفضائية، والطرائق الإحصائيّة الوصفيّة والتنبّؤيّة في ربط المتغيرات المكانيّة المستقلة بغير المستقلة منها. كما أن ضم التقنيات الإحصائيّة، عادةً، مع تحليل نظم المعلومات الجغرافيّة، يمكن أن يربط الأبعاد الهندسية القابلة للقياس كميا للخرائط الموضوعيّة، سواء منفردة أو مجتمعة، مع العمليات الوظيفيّة التي قد تكون وراء التشكيل الهندسي للظواهر في هذه الخرائط. ويمكن أن تكون هذه الفرضيات هدفاً بحد ذاتها، أو يمكن أن تُستخدم كنقطة انطلاق في النمذجة بنظم المعلومات الجغرافيّة.

هناك العديد من أنواع نماذج نظم المعلومات الجغرفية، وذلك حسب نوع الطريقة التي بُنيت عليها تصنيفاتها. فعلى سبيل التبسيط، قسمنا أنواع النماذج حسب ثلاث طرائق. الأولى، وفيها تم تصنيف النماذج على أساس الهدف أو الغرض ليشمل ذلك النماذج الوصفيّة والنماذج الموصِّفة. وبالرغم من أن هذين النوعين من النماذج هما فعلياً جزء من سلسلة طويلة، فإن النماذج الوصفيّة تهدف أساساً إلى الإجابة عن السؤال "ما هو" (أو ماذا يوجد)، في حين أن النماذج الموصِّفة تجيب، في الغالب، عن السؤال من نوع "ماذا يجب أن يكون". أما الطريقة الثانية لتصنيف أنواع نماذج نظم المعلومات الجغرافيّة، فهي مبنيّة على المنهجيّة، وتشمل النماذج العشوائية (إحصائياً) مقابل النماذج الحدّية أو القطعية؛ حيث تهتم بتحديد العلاقات السببية بشكل فعّال. أما الفئة الأخيرة للتصنيف، فهي مبنيّة على أساس نوع المنطق المستخدم في تنفيذ النموذج. وفي هذه الحالة، تكون بعض النماذج استقرائيّة؛ حيث تحاول أن تستخلص تعميمات بناءً على مجموعة فرعيّة أو عينات لكامل مجتمع البيانات، أو نماذج استدلاليّة؛ حيث يمكن أن تُستخدم المعرفة حول الحالة بأكملها للتنبؤ بالظروف أو الحالات الفردية.

مواضيع المناقشة

١- يجري بناء نموذج نظام معلومات جغرافيّة تنبؤي قابل للتعميم خاص بحرائق الغابات المحتملة من قبل هيئة خدمات الغابات الأمريكية وذلك بناءً على عوامل مثل استخدام الغابات، وأنواع الوقود وبنيته، ومواقع المتنزهات، وإحصاءات الزوار، وغيرها كثير. إضافة إلى ذلك، فقد صُمم النموذج للتنبؤ بانتشار الحريق على أساس سرعة الرياح واتجاهها، وطبوغرافيّة السطح، والرطوبة، والعديد من العوامل الأخرى. ناقش أنواع نماذج نظم المعلومات الجغرافيّة التي بحثناها في هذا الفصل، ثم صنف هذا النموذج بشكل عام وعناصره الجزئية بشكل خاص.

٢- لن يتم فهم المشكلة في إنشاء نماذج نظم المعلومات الجغرافيّة من خلال معرفة أو اطلاع جديد فقط. فعلاوة على ذلك، أنت ستستخدم برنامج مثله مثل أي استخدام لأي برنامج آخر، إذ متى ما تعلمت أي المفاتيح التي يجب أن تضغط عليها، فإن البقية ما هي إلا تكرارا فقط. قدّم سيناريوا تستطيع من خلاله أن تقيد معرفتك الجديدة في التفكير بشروط مكانيّة واضحة. الغرض من التمرين، هنا، هو جعلك تفكر مكانياً مع صديق لك لتطوير السيناريو ومناقشة حله.

٣- ناقش دور مصفوفة الذخيرة المعلوماتية في اكتساب المعرفة حول العلاقات بين تمثيلات الخرائط الموضوعيّة والبيانات المكانيّة والعوامل الوظيفيّة. ما الطرائق الأخرى المتوفرة لاكتساب المعرفة لمثل هذه المهمة؟ ما هي مزايا وسلبيات كل منها؟

٤- لاحظ هذه الأوصاف التالية التي يمكن أن تُطبق بسهولة على أنواع مختلفة من نماذج نظم المعلومات الجغرافيّة، ثم ناقش كيف يمكن أن تتلائم مع التصنيفات الثلاثة الأساسية التي اُستخدمت في هذا الفصل:

أ) تنبؤي.

ب) محاكاة.

ج) مكانيّة زمانيّة (ديناميكيّة).

د) الإمكانيّة المكانيّة.

هـ) الملاءمة المكانيّة.

٥- قدّم بعضاً من تقنيات الاستعراض المرئي والمنهجيات الإحصائيّة ومصادر المعلومات بحيث تكون ملاءمة لثلاثة مجالات معرفية على الأقل بحيث توفر جميعها أساساً للفهم المكاني. يمكن أن تشمل هذه المجالات أمثلة منها: العدل الجنائي؛ والدفاع؛ وتخطيط الأراضي؛ وتمذجة الغلاف الجوي؛ وتقييم بيئات الاستيطان؛ واختيار المواقع الملاءمة؛ وتوفير الرعاية الصحية؛ والعقارات؛ والتأمين.

أنشطة تعليمية

١- اذهب في رحلة طريق عادية عشوائية في المنطقة أو الحي المجاور لك، حاملاً معك آلة تصوير (عادية)، مع فلم في حدود (٢٤) صورة على الأقل. مهمتك الآن أن تصوّر بيئتك كما تلاحظها أول مرة، وتوثق بشكل خاص ما تلاحظه من أنماط. قم بعد تحميض فلمك بعمل دليل في حدود (٣ x ٥) بوصة لكل صورة تصف طبيعة البيئة التي صورتها والأنماط التي لاحظتها. اعمل ملصقا لصورك - بعد ذلك - مع هذا الفهرس بحيث تشارك زملاء فصلك الاطلاع على عملك.

٢- أنشئ من الصور التي جمعتها وجمعها زملائك الآخرون جدولاً يشبه الجدول رقم (٥,١) يبيّن البعد المكاني، والهدف (الظاهرة)، والشخصية، والمقياس، والسبب المحتمل، والنتيجة وذلك لكل هدف من الأهداف التي حدّدتها.

٣- اجمع (١٠) إلى (٢٠) مقالاً حول النمذجة بنظم المعلومات الجغرافيّة وذلك من مجلات علمية (خاصة من المجلات المرموقة علمياً)، بطريقة عشوائية - دون اختيارها على أساس النوع (وصفيّة مقابل موصّفة)، أو على أساس المنهجيّة، أو المنطق. أنشئ جدولاً من خمسة أعمدة، بحيث يمثّل العمود الأول اختصاراً لعنوان المقال، والثاني لاسم المجلة، والثلاثة الأعمدة الباقية لفئات النماذج المستخدمة (الهدف، والمنهجيّة، والمنطق). اربط وصنّف كل مقال مع الخصائص الواردة في هذه الأعمدة. ادرس الجدول، ثم اقترح أي المجلات التي يبدو أنها متخصصة بنوع أو أنواع معينة من نماذج نظم المعلومات الجغرافيّة. هل يمكن أن يُستدل من هذا على المكان (المجلة) الذي يمكن الحصول منه على نماذج أخرى مشابهة؟

الفصل السادس

تصور النموذج
CONCEPTUALIZING THE MODEL

أهداف تعليميّة

يُفترض أن يكون الطالب قادراً بعد إكمال هذا الفصل وتعزيز محتوياته بقراءات خارجية، وبالبحث وبالممارسة العمليّة على عمل ما يلي:

١- تحديد أهداف نماذج نظم المعلومات الجغرافيّة في ضوء معطيات محدّدة من السيناريوهات وأنواع النماذج.

٢- استخدام نماذج نظم المعلومات الجغرافيّة المتوفرة والمنشورة وإعادة تركيبها بهدف إظهار عناصر التصميم التصوّرية التي قامت عليها هذه النماذج.

٣- تحديد المُخرجات الدقيقة من المعلومات المكانيّة التي يجب أن تنتج من النمذجة بنظم المعلومات الجغرافيّة حسب أهداف مختارة.

٤- تفصيل منتجات المعلومات المكانيّة إلى الأجزاء المكوّنة لها بغرض إنشاء وحدات مستقلة بحيث يمكن تطوير نماذج فرعيّة منها.

٥- تحديد واضح للعلاقات والروابط بين أجزاء الوحدات الفردية لنموذج نظم المعلومات الجغرافيّة.

٦- تحديد التمثيلات الخرائطيّة والخرائط الموضوعيّة الضرورية لتمثيل كل نوع من أنواع مكونات النموذج.

٧- تقييم أي العناصر غير مكانيّة وأيها غير متوفر كمُدخلات في نماذج نظم المعلومات الجغرافيّة.

٨- تحديد متى يمكن أن تُؤخذ البيانات غير المكانيّة (الوصفيّة) كعوامل ضمن التمثيلات الخرائطيّة للبيانات المكانيّة.

٩- عدّ الوسائل التي يمكن اتباعها في حل مشكلة بيانات الخرائط الموضوعيّة المفقودة.

١٠- عدّ الوسائل الخاصة بتحديد واستخدام البدائل المكانيّة للبيانات الموضوعيّة سواء كانت مفقودة أو غير مكانيّة في نماذج نظم المعلومات الجغرافيّة.

١١- تحديد مصادر واضحة للبيانات، وأنواعها، وطرائق إدخال البيانات التي سوف تُستخدم في صياغة نموذج نظم المعلومات الجغرافيّة الخاص بك.

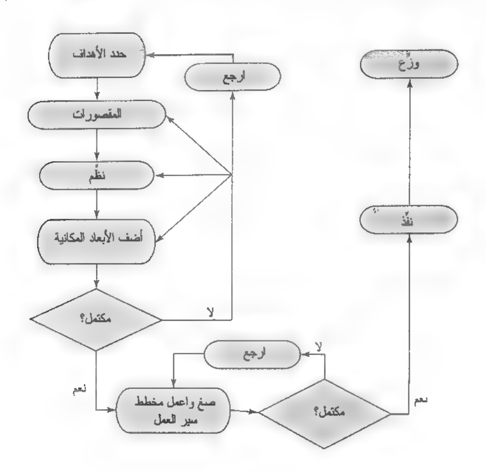
مقدمة

لقد بحثنا في الفصل الخامس عددا من طرائق التفكير الخاصة بالنمذجة بنظم المعلومات الجغرافيّة وأنواع النماذج العامة التي يستطيع أن ينشئها نظام المعلومات الجغرافيّة. فلقد بحثنا، على وجه الخصوص، في كيف أن النماذج تتراوح بين النوع الوصفي والنماذج الموصِّفة الأكثر تعقيداً في الغالب، بالإضافة إلى مزيج هذين النوعين من النماذج. تُعتبر هذه الهياكل أساسية في تصور وصياغة النماذج لأنها تعطينا إطاراً لتحديد النتيجة النهائيّة التي ستتمخض من عمليّة نمذجتنا، وكيف يمكن أن نصل إلى تلك النتيجة. لكن حتى هذا الإطار الأساس ما هو إلا الخطوة الأولى في الإنشاء الفعلي للنموذج بنظم المعلومات الجغرافيّة. وبمجرد أن يتم تقرير النتيجة النهائيّة وتحديد الأسلوب المنهجي، فنحن بحاجة - بعدئذ - إلى تحديد استراتيجيات محدّدة لتنفيذ النموذج. يمثّل هذا إلى حد ما فحصا أكثر تحديداً للعناصر الأساسية التي يتكون منها النموذج الذي تقوم ببنائه. سوف تساعدك الصفحات التالية في اختيار المنطق المناسب وترجمته إلى شكل متوافق من أشكال التعبير. سننظر في الفائدة والمحاذير المحتملة لكل طريقة منطقيّة، ثم البدء في عمليّة تحديد عناصر الخريطة. وفي وقت لاحق، في الفصل السابع، سنقوم بصياغة هذا من خلال استخدام مخططات سير عمل النماذج. لكن سوف نركز الآن على المهام الأكثر غموضاً والتي لا تقل أهمية في عمليات تصور وصياغة النماذج.

تكاد تكون مناقشة الأفكار الخاصة بتصور وصياغة نموذج نظم المعلومات الجغرافيّة مستحيلة تقريباً في حالة عدم وجود أمثلة ملموسة. لقد أدرك توملن (١٩٩٠م) هذا الأمر في كتابه الأكثر استشهاداً حول النمذجة بنظم المعلومات الجغرافيّة، حيث استخدم قاعدة بيانات واحدة كمثال في جميع أنحاء كتابه. فكانت فكرته هو أن يسمح للمستخدم أن يكون بين يديه مجموعة عامة من البيانات ومجموعة محدودة من المواضيع؛ حيث يمكن من خلالها أن يطور لغته النمذجية. وبالرغم من أن هذا النهج كان عملياً في توضيح كيفية عمل الجبر الخرائطي، غير أني اعتقد أن الأعداد المتزايدة والمتنوعة من النماذج، والمنمذجين، ومجالات المواضيع أو التطبيق، والسياقات وتزايد مستويات تعقيد النموذج، وإدراك المتلقين، كل ذلك يستدعي الحاجة إلى تقييم أكثر واقعيةً إلى حد ما للنمذجة بنظم المعلومات الجغرافيّة، من خلال استخدام مجموعة بيانات حقيقية ونموذج حقيقي، يُلحق بها أمثلة متى ما كان ذلك ممكنا. إن ما آمل فعله هو التوسّع في الأفكار والمفاهيم الأولية التي عبّر عنها توملن.

من الضروري أن نتصور النموذج أولاً، بغض النظر عن نوع نموذجك سواء كان نموذجاً وصفياً بحتاً أو توصيفياً، بحيث يمكن أن تصوغه بشكل فعال إلى الأجزاء المكونة له. يعد تصور النموذج (Model conceptulization) شكلاً عاماً لعمليّة الصياغة الفعليّة (Model formulation). إن الغرض من وضع التصور - وكما هو الحال مع نظيره الخرائطي- هو أن تتخيل كيفية عمل نموذجك كما هو مفترض، ويتم هذا، عادةً، من خلال مقارنة نموذجك الذي تريد أن تفعله بأمثلة مشابهة من الدراسات السابقة. وبمجرد أن نضع الرؤية التصوّرية أو المفاهيمة العامة، نستطيع -

بعدئذ – أن ننتقل إلى الصياغة الفعليّة، ورسم مخطط لسير عمل النموذج الذي سوف نتناوله في الفصل التالي. سوف نبدأ بدراسة أهدافنا، ثم نمضي إلى تجزئة مشكلتنا إلى مقصورات أو وحدات منفصلة (Compartments)، ثم ننظم هذه المقصورات، ونحدّد أبعادها المكانيّة، وأخيراً، نحدّد أنواع ومصادر البيانات المحتملة (الشكل رقم ٦,١).



الشكل رقم (٦,١). مخطط يبيّن سير عمليّة عامة للنمذجة.

تحديد أهدافك

إن التصميم الملائم، سواء تعلق الأمر بإنشاء جسر، أو بناء منزل، أو وضع نموذج بنظم المعلومات الجغرافيّة، يتم بصيغة إرتجاعية باعتبارها طريقة عمل تتمتع بقدر كبير من الفعالية، بدءاً بالمنتج النهائي المطلوب وانتهاءً بتحديد صريح للمكونات والتفاعلات الضرورية. يُسمى الهدف في أغلب الأحيان، حسب التصميم بنظام المعلومات الجغرافيّة، بمنتج المعلومات المكانيّة (SIP)، كما رأينا ذلك من قبل (Marble, 1995). هذا يبيّن أن الناتج النهائي يأخذ في الغالب شكل المعلومات، موضّحاً سياقاً مكانياً، وسياقاً معيناً يتعلق بموضوع مجال النموذج، وذلك نتيجة لشيء من

التكامل أو المعالجة (أو من كليهما) للبيانات الموضوعيّة ذات الارتباط المكاني الواضح. وفي بعض الحالات، يكون كل المطلوب فقط هو هذا المنتج المعلوماتي المكاني. فعلى سبيل المثال، قد تحاول تحديد أفضل موقع للطمر الصحي على أساس التربة، والمياه السطحية والجوفية، وتوفر الأراضي، ومخططات التقسيم، وسهولة الوصول (نموذج موصِّف). وقد تنشئ، كبديل لذلك، نموذجاً أكثر مرونة تتسم نوعية منتجاته المكانيّة بأنها أقل تحديداً (مثل إنشاء نموذج وصفي بنظم المعلومات الجغرافيّة يهتم باستقصاء المعلومات من البيانات)، وهنا، يتطلب مُخرجات خرائطية متعددة أو حتى أنواعاً متعددة من المُخرجات. أو أنك قد تصمم نموذجاً موجهاً لأكثر من جمهور أو مستفيد واحد (مثلاً، عندما تؤثر القرارات المتعلقة باستخدام الأرض على مجموعات متباينة فإن الأمر يتطلب نموذجاً قادراً على حل التعارضات المكانيّة). وبغض النظر عن استخدامك لأي من هذه السيناريوهات، أو اختيارك لأي من البدائل العديدة، فإنه من الأفضل دائماً أن تتخذ من البداية قراراً بشأن النتائج النهائيّة. وفي الوقت نفسه، يجب على المنمذج أن يحرص على ألا يكيِّف المخرج لصالح التوقعات، وإنما يقدم نتيجة موضوعيّة استناداً على البيانات.

على الرغم من أن النماذج الوصفيّة والموصِّفة تعمل بشكل مختلف، وعلى الرغم من أن الأهداف والمنتجات المعلوماتية المكانيّة المتوقعة تكون مختلفة، في الغالب -إلا أن كل النماذج الموصِّفة، تقريباً، تتأسس على مكوِّن وصفي لا يستهان به. سوف نركز في هذا الفصل على النموذج الوصفي لهذا السبب، وسوف نرى في الفصل القادم كيف تبدأ النماذج في التشعب عندما نبدأ في صياغتها ونرسم مخططات سير عملها. وكما رأينا في وقت سابق، فالنماذج الوصفيّة تميل إلى أن تكون أكثر تركيبيةً منها تحليلية، في حين أن الكثير من النماذج الموصِّفة تبدأ بشكل ما من أشكال التركيب - أو التوليف - وتنتهي بمزيد من التحليل. وبعبارة أخرى، تميل النماذج الوصفيّة إلى وضع البيانات معاً ضمن السياق التطبيقي الذي يسمح للمستخدم باتخاذ قرارات حولها. وقد تتضمن نماذج نظم المعلومات الجغرافيّة لأي من هذين النوعين العامين أنواعاً معروفة جيداً وواضحة من البيانات التي تتبادر فورا إلى الذهن. هذا يوحي بأنه من خلال فقط جمع كل البيانات الموجودة لمنطقة دراسة معينة، فإننا نحتاج فقط إلى إيجاد وسائل مناسبة لربطها مع بعضها لوضعها موضع السياق. مثل هذا النهج، وإن بدى فعالاً، كثيراً ما يؤدي إلى إغفال البيانات الهامة، وتفكير غير دقيق أو غير صحيح، ونماذج مبنيّة على تحيز طبيعي أو ثقافي (بشري) يصعب تبريرها والدفاع عنها. وفي الحقيقة، تعكس هذه النماذج، في كثير من الأحيان، مُخرجاً مُقدَّراً سلفاً بدلاً من أن تعكس استراتيجيةً مدروسة جيداً.

ومع انتشار مجموعات البيانات المسجلة جغرافيا على مقاييس مختلفة، صار بإمكاننا أن نتوقع ونحدِّد من البداية كيف يمكن تطبيق هذه الخرائط الموضوعيّة في النموذج. ورغم أن هذا قد يبدو سهلاً وحتى معقولاً، أيضاً - إلا أنه من المهم جداً أن تقاوم هذه الفكرة ما لم يكن هدفك الأساس من النمذجة هو استقصاء أو استخراج معلومات من البيانات وصياغة فرضيات في بيئة غنية من البيانات. ومع ذلك، عليك أن تتذكر أن الوضع مختلف في ظل معظم إعدادات وظروف نمذجة نظم المعلومات الجغرافيّة للعالم الحقيقي.

لا أريد أن أفصّل أكثر في هذه النقطة، ولكنني أعتقد أن معظم الكتب والمراجع لا تؤكد على هذه النقطة الأخيرة بما فيه الكفاية. ولقد كان القلق المشترك بين أوائل الباحثين في تطبيقات نظم المعلومات الجغرافيّة، هو أن المشكلة التي كانوا يحاولون إيجاد حل لها، أو منطقة الدراسة التي اختاروها لنموذج معين، يمكن أن تفتقر إلى مجموعات البيانات اللازمة لإنجازها.

إن من بين الأسباب الرئيسة لتجاهل مجموعات البيانات الموجودة كنقطة انطلاق للنمذجة بنظم المعلومات الجغرافيّة هي أن:

١- كثير من مجموعات البيانات التي ليست مؤلفة خصيصاً لنموذجك ستفتقر إلى سلامة البيانات، والصحة، والمقياس، وأنظمة التصنيف، وغيرها من الخصائص.

٢- كثير من مجموعات البيانات التي ليست مرتبطة بنموذج، ستتضمن الكثير من المواضيع، وتقترح، في الغالب، عواملاً ليس لها صلة بنموذجك، علاوةً على زيادة متطلبات تخزين البيانات وفهرستها.

٣- في المقابل، كثير من مجموعات البيانات غير كاملة لنماذج معينة.

٤- مجموعات البيانات يمكن، في كثير من الأحيان، أن تحيد بتفكيرك نحو التحيز من الناحيتين المنهجيّة والتصوّرية.

٥- تغطية المنطقة، وإجراءات أخذ العينة غالباً ما تكون غير ملائمة لبعض المهام النمذجية.

إن أحد البدائل البسيطة لجمع مجموعات البيانات المتاحة لمنطقتك ومحاولة معرفة ماذا يجب أن تفعل بها هو أن تحدّد بشكل منهجي ما الذي تريد من النموذج أن يقوم به، قبل أن تجمع أي بيانات على الإطلاق. فإذا كان الغرض من ذلك - كما هو الحال غالباً مع النماذج الوصفيّة - هو توليف معايير لهذه المهام، مثل وصف وترتيب القدرة المحتملة لمورد أرضي لمهام مثل ممرات خطوط الطاقة، أو مرافق النفايات الصلبة، أو الإنشاءات السكنية، فإن المعايير نفسها هي التي ستقود النموذج في نهاية المطاف وستقترح البيانات الملاءمة. يجب عليك، هنا، ملاحظة إن هذه النماذج، على الرغم من كونها وصفيّة بطبيعتها؛ لأنها لا تجيب فقط على سؤال "ما هو" (أي ما هي القدرة الحالية للأرض؟)، بل، أيضاً، تبدأ تأخذ في الاعتبار السؤال المحتمل "ماذا يمكن أن يكون" - إلا أن مثل هذه النماذج تبدأ فعلاً بالتحرك على نحو مستمر باتجاه الإجابة على سؤال "ماذا ينبغي أن يكون". يبيّن هذا، مرة أخرى، كيف أن النموذج الموصِّف دائماً ما يحتوي على مكون أو عنصر وصفي.

دعنا نلقي نظرة الآن على مثال تقليدي لنموذج وصفي خلوي بنظام المعلومات الجغرافيّة من الدراسات السابقة - نموذج ليسا (LESA) من وزارة الزراعة الأمريكية. لقد كان هذا النموذج أصلاً نموذجاً غير مكاني (وصفياً) - أو على الأقل، نموذج تقييم أراضي على أساس موقع بموقع على مستوى المقاطعة في الولايات المتحدة. وقد صمم لتقديم دعم اتخاذ القرار للمخططين المهتمين بالتخصيص السليم للأراضي الزراعية للاستخدامات غير

الزراعية. يرتبط هذا النموذج بالمهام الوصفيّة أكثر من المهام الموصِّفة ؛ لأنه من الناحية التقنية لا يخصص أي أراضٍ محدّدة، بل يثمّنها (كمياً) على أساس مجموعة من المعايير بناءً على مفاوضات بين المنتسبين لوزارة الزراعة والمخططين المحليين أو الإقليميين.

لقد نشر وليامز (١٩٨٥م) وصفاً مفصلاً نسبياً للنموذج (ليسا)، خصوصاً ما يتعلق بجزئية تقييم الموقع الذي يركز على القطعة التي لا تحتوي على تربة. يهتم هذا التقييم فقط بنوعية التربة لأغراض الزراعة ويستند على مؤشر مختار للمحاصيل في المنطقة. تتطلب هذه المهام، عادةً، كثير من الأنشطة غير المرتبطة بنظم المعلومات الجغرافيّة، وتُصنف خريطة الترب للمقاطعة على أساس ترتيب عددي لكل نوع من أنواع التربة. ويتطلب تقييم التربة لاستعمالات أخرى غير الزراعة المزيد من المعلومات حول البنية التحتيّة، والعوامل الاجتماعية والاقتصادية، وأنظمة التخطيط والتقسيم، والعديد من العوامل الأخرى.

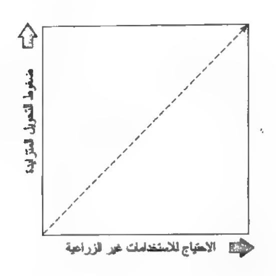
تخيّل قبل الاندفاع للنظر إلى الأعمال المنشورة أنك تحاول أن تنشئ نموذجاً لتقييم موقع ما للوقاية من إساءة استعمال الأراضي الزراعية القريبة من المناطق الحضريّة في بلدتك أو مدينتك. ستبدأ، كما ذكرنا سابقاً، مع الهدف أولاً، ثم تنتقل بالعمل إلى الوراء. ما الأهداف الأساسية لنظام تقييم الموقع؟ من الواضح أنها لتقييم نوعية الموقع – لكن نوعية ماذا؟ ولأن هدفك، هنا، هو حماية الأراضي الزراعية من التحول إلى أغراض غير زراعية بقدر الإمكان، فإنك بحاجة إلى أن تنظر في العوامل التي قد تؤثر في هذه القرارات. هذا يتطلب منك أن تعرف شيئاً حول عمليّة التخطيط، والزراعة، وتحويل الأراضي، ومجموعة كبيرة من المواضيع ذات الصلة. ومع ذلك، فإن هذه الأفكار ليست بالضرورة مرتبطة فقط بتحويل الأراضي الزراعية.

أولاً وقبل كل شيء، أنت تعرف بعض الأمور الأساسية جداً المتعلقة بسيناريو تخطيط الأرض، وهي على النحو التالي:

• **الفرضية الأساس للنموذج – وهي أن هناك مستوى معين من الطلب للاستخدامات غير الزراعية على مخزون الموارد الأرضية.** عندما يزيد الطلب على الاستخدامات غير الزراعية، فإن هذا يشكل ضغطاً على المخططين لإتاحة المزيد من الأراضي الزراعية لتصبح غير منتجة لصالح الاستخدامات غير الزراعية (الشكل رقم ٦,٢). ويولد هذا الضغط، في كثير من الأحيان، زيادة في عدد سكان المناطق الحضريّة، وتحسين في الاقتصادات غير الزراعية، وارتفاع في أسعار أراضي الاستعمالات الأخرى غير الزراعية. إن الطلب للاستعمالات غير الزراعية ليس عاملاً مكانياً مباشراً وقد يتطلب الأمر منك أن تستخدم بدائل بحيث تدمجها في النموذج.

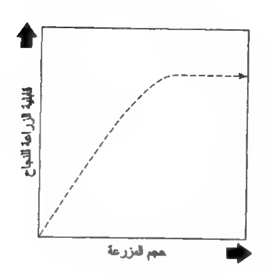
• **الأرض مملوكة بالفعل لأحد ما.** تعد ملكية الأرض عاملاً مهماً في المحافظة على الأرض؛ فهي إما أنها تعزز إمكانيّة استخدام الأرض لأغراض غير زراعية، وإما تقيّدها. فإذا كانت الأرض مملوكة من قبل أحد المزارعين والذي يزرعها فعلياً، فإن هذا يدفع بالمستخدِم المحتمَل غير الزراعي إلى أن يطبق ضغوطاً سياسية أو اقتصادية تجبر

المالك الحالي أو تشجعه لبيع هذا الملك. هذا من شأنه أن يكون عاملاً مثبطاً في عمليّة تحويل الأرض. وكبديل لذلك، إذا كان المالك الحالي لا يزرع الأرض، خصوصاً إذا كان المالك في الحقيقة يخطط لاستعمالات أخرى، فإن هذا من شأنه أن يكون عاملاً محفزاً لاستخدام الأرض لأغراض غير زراعية. تربط ملكية الأرض قطع الأراضي بالأفراد، والحكومات، أو أصحاب الشركات العقارية، ممّا يجعل تحويلها سهلاً نسبياً إلى مواضيع (طبقات) في نظم المعلومات الجغرافيّة.

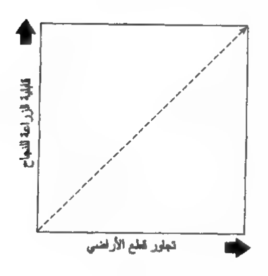


الشكل رقم (٦,٢). علاقة محتملة بين ضغوط تحويل الأرض لاستخدامات غير زراعية والطلب على الاستخدامات غير الزراعية.

• **للأرض حجم أو تشكيل خاص، أو كلاهما.** إن للموقع، أو التوازي (المحاذاة النسبية للموقع)، دوراً كبيراً في تحديد قابلية استخدام قطعة الأرض في المحافظة أو المقاطعة لأغراض زراعية أو أغراض أخرى (الشكل رقم ٦,٣، والشكل رقم ٦,٤). تتطلب الصناعات الكبيرة، والتقسيمات الفرعيّة، والزراعة التي على نطاق واسع، قدراً كبيراً من قطع الأراضي. كما أن الحجم الدقيق المطلوب قد يختلف من مكان إلى آخر. بالإضافة إلى ذلك، تكون بعض القطع مجزأة (غير متصلة)، في حين تكون بعض القطع الأخرى متجاورة. كما أن بعضها يكون متوفراً في أشكال مستطيلات، أو غيرها من التكوينات التي تحوز على مساحة داخلية أكبر من الحواف، في حين أن البعض الآخر طويل، ونحيل، بل حتى متعرج. كل هذه لها فوائد وقيود للاستخدامات الزراعية وغير الزراعية. هذا يعطيك حافزاً لأن تستخدم نظم المعلومات الجغرافيّة في تحليل حجم وشكل جميع القطع في المقاطعة.



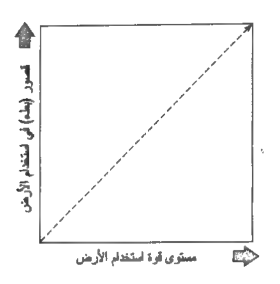
الشكل رقم (٦,٣). علاقة محتملة بين حجم المزرعة وقابلية نجاح الزراعة فيها.



الشكل رقم (٦,٤). علاقة محتملة بين تجاور قطع الأراضي وقابلية نجاح الزراعة فيها.

• **للأرض استخدام قائم معروف.** لقد رأيت في عامل ملكية الأرض، أعلاه، أن المالك قد يكون مستخدماً للأرض لأنشطة زراعية أو غير زراعية (الشكل رقم ٦,٥). وبهذا، فهناك صلة مباشرة بين ملكية الأرض، واستخدامها الحالي، والاستخدامات المقترحة لها. إن الاستخدامات القوية (المكثفة) للأرض (تلك التي تحتاج إلى مُدخلات كبيرة من المال، والمواد، والبناء) عادةً ما تبقى دون تغيير. وعلى هذا، فإن هناك عامل مثبط حيال تغيير هذه الاستخدامات إلى بدائل استخدام أخرى ما لم تكن هناك فائدة واضحة لذلك.

• **للأرض بعض القيمة الجمالية (حتى وإن كانت للفلاحة).** إن من بين المشكلات الأكثر شيوعاً المرتبطة بتخطيط الأراضي هي تلك المسماة "ليس في عقر داري". وعلى الرغم من إننا لن نتعامل مع العديد من المشكلات المتعلقة بتضارب المصالح وحل التعارضات في هذا الفصل، لكن يجب أن نضع في اعتبارنا أن بعض استخدامات الأراضي، بحكم طبيعتها، ذات سمة جمالية عند البعض أكثر من بعض الاستخدامات الأخرى. هذا عامل يصعب تحديده كمياً؛ فليس له بعد مكاني واضح يمكن قياسه.

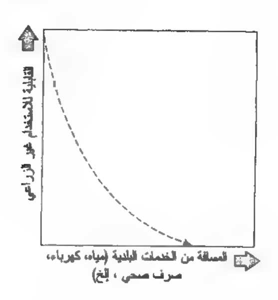


الشكل رقم (٦,٥). علاقة محتملة بين قوة استخدام نوع معين من الأرض وإمكانية (القصور الذاتي) أن تستمر الأرض في ذلك النوع من الاستخدام

• **تحتاج المحاصيل واستخدامات الأرض غير الزراعية إلى مياه.** بالرغم من أن الزراعة تتطلب مياه -إلا أن هذا قد يكون متاحاً من خلال هطول الأمطار بدلاً من الري. وقد تتطلب الاستخدامات غير الزراعية، على أي حال، استخدام مصادر مياه البلدية للعمليات اليومية. تمتلك البلديات عموماً مسوحات مفصَّلة لخطوط المياه، كما أن قطع الأراضي الموجهة للاستخدامات غير الزراعية التي تقع بالقرب من خطوط المياه لها ميزة على تلك القطع التي ليست كذلك. مرة أخرى، يوفر هذا لنا طريقة لتقييم قطعنا الأرضية على أساس المسافة إلى مصادر مياه البلدية.

• **الطرق ضرورية لأغراض النقل.** من الضروري أن توجد الطرق للتنقل بين قطع الأراضي، سواء كانت الاستخدامات لأغراض زراعية أو غير زراعية (الشكل رقم ٦,٦). تفي الطرق الترابية أو الحصوية بالغرض بالنسبة للزراعة وذلك لحركة ونقل متطلبات المزرعة؛ بالمقابل، يعزز وجود طرق معبدة، إلى حد كبير، قدرة كثير من الاستخدامات غير الزراعية على البقاء، خصوصاً الطرق السريعة متعددة المسارات. وعلى هذا، فإن وجود مثل

هذه الطرق بالقرب من المواقع المقترحة يعد أمراً مفيداً للاستخدامات غير الزراعية، ومن المرجح أن يقلل احتمالية الحفاظ على الزراعة في تلك القطع.



الشكل رقم (٦,٦). علاقة محتملة بين المسافة إلى الخدمات البلدية والقابلية للاستخدامات غير الزراعية.

• **كثير من الاستخدامات غير الزراعية للأراضي تتطلب كهرباء.** بالرغم من أن الزراعة تحتاج إلى الكهرباء – إلا أن هذه الحاجة طفيفة مقارنة مع الاحتياجات الكثيرة للاستخدامات غير الزراعية مثل الأعمال التجارية، أو الصناعية، أو السكنية. وبهذا، ومن منظور الجدوى الاقتصادية، فإن توفير الخدمة الكهربائية يفضّل الاستخدامات غير الزراعية أكثر من الزراعية.

• **معظم استخدامات الأراضي غير الزراعية تتطلب مجاري صرف.** تحتاج الاستخدامات غير الزراعية إلى التخلص من النفايات السائلة. يتم هذا عموما إما من خلال ربط آلي بنظام المجاري الخاص بالبلدية، وإما عن طريق استخدام نظم التطهير في الموقع نفسه. وتعد إمكانيّة الربط مباشرة بمجاري البلدية حافزاً إيجابياً لاستخدامات الأراضي غير الزراعية.

• **قد يكون هناك قيود قانونية على الأرض وقد لا يكون (مثل حقوق الانتفاع، وأنظمة التقسيم، وما شابه ذلك).** معظم البلديات لديها مجموعة من أنظمة التقسيم أو حقوق الإنتفاع التي تقيّد استعمال الأرض لأغراض خاصة. لا يوجد، في كثير من الأحيان، مجموعة من الإرشادات التخطيطية تتعلق بأي القيود المناسب تطبيقها في مكان معين، وتختلف صرامة هذه التقييدات من مكان إلى آخر وذلك حسب توجه الإدارات والمجتمعات المحليّة. وأيا كان الحال، فإذا كانت بعض استخدامات الأرض محظورة على موقع معين، أو كانت ضمن مسافة معينة من موقع

قد حُدّد لاستخدام معين، فإن هذا يمكن أن يمنع تحويل الأراضي الزراعية في بعض المناطق ويسمح به في أماكن أخرى. هذه العوامل هي فعلا عوامل مكانيّة واضحة.

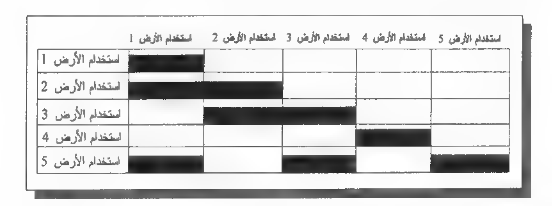
• **قد يكون هناك ظواهر حساسة على الأرض وقد لا يكون (على سبيل المثال، ظواهر تاريخية وأثرية، وأحيائية).** إن وجود الأنواع المهددة بالإنقراض، والأماكن الأثرية أو التاريخية المعروفة، أو مناطق ذات مواثيق تقيد استخدامها، كثيراً ما يحول دون اختيار الأرض الزراعية لاستخدامات معينة. وفي كثير من الحالات، فإن هذه القيود لا تنطبق فقط على الأماكن ذاتها، ولكن، أيضاً، على قطع الأراضي المجاورة. تعد مواقع مثل هذه الأماكن الحساسة مكانيّة صرفة.

• **لكل قطعة أرض قطع مجاورة لها، تماما مثلما لديك جيران في محيطك السكني.** لقد رأيت، وذلك في عدة حالات، كيف أن التجاور لبعض أنواع الأراضي أو الخدمات (مثل، الأماكن الحساسة، والطرق، والكهرباء) له تأثير على القرارات المتعلقة بتحويل الأراضي الزراعية. هذه قضية أكبر، على أي حال، لأن العديد من البلديات تحاول أن تكتّل بعض أنواع استخدامات الأرض، بما فيها الزراعة. يعتبر هذا عموماً أكثر فعالية؛ ذلك أنه من الأفضل أن يكون هناك مجمعات صناعية بدلاً من أن تكون الصناعات منتشرة هنا وهناك. وبالمقابل، فالزراعة المتاخمة لزراعة يعتقد أن هذا سوف يشجع أكثر على استمرار النشاط الزراعي الحاصل. ومثلما قد تتوقع، فمفهوم التجاور المكاني هو مفهوم مكاني صريح، وهو، أيضاً، مرتبط من خلال المسافة المقاسة بجميع الاستخدامات الأخرى للأرض والظواهر الحساسة للمسافة في منطقة الدراسة. هذا باختصار يعني أنك سوف تحتاج إلى أن تشتق المقياس للتجاور من خلال قياس المسافة، والأحزمة المحيطة (Buffers)، وغيرها.

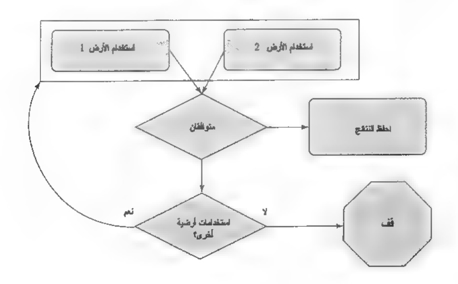
• **نظراً إلى أن هناك قطع متجاورة، فإن بعض استخدامات الأرض تكون متوافقة مع بعضها، وبعض الاستخدامات غير ذلك** (الشكل رقم ٦,٧، والشكل رقم ٦,٨). من العوامل الأخرى التي يجب أن تُشتق من خلال القياس، عامل التوافق مقابل التعارض للاستخدامات المتقاربة والمتجاورة. إن هذا العمل يتطلب أن تحصل على مصفوفة للاستخدامات المتوافقة مقابل المتعارضة، فما يبدو على السطح على أنه عامل وحيد، قد يكون فعلياً عاملاً معقداً نتيجةً لكثرة الاستخدامات الممكنة للأرض. وفي بعض الحالات، قد تفي خريطة عامة للاستخدامات المتعارضة بالغرض في حالة عدم وجود قائمة كاملة بالاستخدامات المحتملة. وفي حالات أخرى، قد يتطلب النموذج إعادة حساباته وذلك كل مرة يُقترح استخدام جديد.

تتعلق كل من هذه العوامل الأساسية بأهداف المحافظة على الأراضي الزراعية وتخطيطها، وذلك إما في شكل عوامل موضوعيّة محتملة (طبقات موضوعيّة)، وإما في شكل معامِلات خوارزميّة (Algorithmic operators) لنموذجك. غير أنه حتى الآن، توجد هذه العوامل في شكل عشوائي تقريباً، وربما غير مكتملة، وكمجموعة من المفاهيم والعوامل ذات ترابط فضفاض. وقد تكون إحدى الطرائق لتنظيمها، ضمّها كلها مع بعضها؛ حيث تتمكن من دراسة كل مجموعة على حدة لتقييم اكتمالها أو تكرارها. وفي بعض الحالات، قد يكون مفيداً أن تنشئ المجموعات قبل أن

تحصر قائمة كاملة بكل العوامل. يتطلب هذا أن تعرف مسبقاً ما هي مقصورات (أجزاء) (Compartments) التخطيط الكبرى. كما أن هذه المنهجيّة هي المفضلة، في بعض الحالات، عندما تكون تفاصيل عوامل النموذج غير معروفة جيداً، خصوصاً عندما يكون البعد الجغرافي للنموذج غير مستنفذ بحثه تماماً وتكون الافتراضات خطرة على نتيجة النموذج. وتعد النماذج المبنيّة على استقصاء المعلومات من البيانات (Data mining) من الأمثلة الجيدة على ذلك، لا سيما عندما تستخدم استراتيجية المنهج الاستقرائي تماماً في النمذجة بنظم المعلومات الجغرافيّة.



الشكل رقم (٦،٧). مصفوفة التوافق لاستخدام الأرض. إحدى المنهجيات للنظر في التوافق بين استخدامات الأرض، أو أي عوامل أخرى قد تندمجها، هو أن تنشئ مصفوفة بسيطة. في هذا المثال، تبيّن المقصورات المظللة استخدامات الأرض في الأعمدة التي تتوافق مع الاستخدامات الأخرى في الصفوف.



الشكل رقم (٦،٨). مخطط لتحديد التوافق بين أي استخدامين للأرض. يتم تخزين كل زوج متوافقين حتى الانتهاء من فحص كل الاستخدامات الأخرى.

تقع نماذج نظم المعلومات الجغرافيّة الخاصة بالحياة البرية (الفطرية) واستخداماتها والتنبؤ بها، في كثير من الأحيان، ضمن هذه الفئة. فبالرغم من كونها نماذج استقرائيّة، فهي، أيضاً، وصفيّة، ومرة أخرى لأنها تخصص وصفات محدّدة ليس للمكان الذي ينبغي أن توجد الحياة البرية فيه، بل بالأحرى للمكان الذي توجد فيه حالياً. وفي هذه الحالة، أنت تحاول أن تتنبأ بالمكان الذي يمكن أن توجد فيه أنواع (أجناس) معينة أو مجموعة من الأنواع. إنك لن تعرف دائماً جميع المتطلبات للأنواع، لهذا فإن تجميع قائمة بالعوامل هي أصعب من تلك في نموذج ليسا الذي تطرقنا له سابقاً. ومع ذلك، فأنت تعرف، على أي حال، بعض الأمور الأساسية عن الحيوانات البرية. سوف استخدم في هذا المثال أسد أمريكا الشمالية -أو ما يعرف بأسد الجبال. لعلك تسأل نفسك الآن، ما الأشياء العامة التي أعرفها مسبقا عن الأسود الأمريكية؟

تحتاج الأسود الأمريكية، كما هو الحال مع كل الثدييات، إلى الغذاء والماء ومكان للنوم، ومكان لإخفاء صغارها. قد تكون مواقع بعض هذه الأشياء متماثلة، كما هو الحال مع موقع عرين ما. لهذا ستبدأ أولا بإنشاء مقصورات كبيرة، وعليه فإن بدايتك الأولية لهذه التجزيئات (المقصورات)، ستكون على النحو التالي:

• **الغذاء**: الأسود الأمريكية هي آكلة لحوم؛ أي أنها تحتاج إلى فريسة. يمكن أن تكون هذه الفريسة حيوانات صغيرة مثل الأرانب والسناجب، أو حيوانات كبيرة مثل الأيّل والظبي. وعلى افتراض أنك لا تعرف على وجه التحديد الحيوانات يأكلها الأسد الأمريكي، فلك أن تفترض أن المجال يتراوح من الأرانب إلى حجم بحجم الغزال. سيكون انطباعك الأولي هو أن تقوم بتحديد جميع الفرائس التي يلتهمها الأسد الأمريكي، وبأيّ نسبة. هذا قد يتطلب سنوات من البحث، وفحص بقايا الأنواع (الحيوانات المُفترسَة) بغرض التحديد والفهرسة، فضلاً عن التحليل الإحصائي المكثف. هدفك هو تحويل هذه المعرفة إلى خريطة معينة للمكان الذي يعيش فيه الغذاء المفضل للأسد الأمريكي. أنت الآن بهذا قد قمت بإنجاز مهمة صعبة جداً، ذلك لأنه يجب أن تنشئ نموذج نظام المعلومات الجغرافيّة خاص بالمواقع المحتملة لكل فريسة. إن ما نحتاجه، وذلك في معظم السيناريوهات، هو منهجيّة للتقييم السريع، قابلة للتسليم في إطار زمني صغير نسبياً. وهكذا، فقد تضطر إلى الانتظار للحصول على هذه المعلومات التفصيلية. بالإضافة إلى ذلك، عادةً ما تقطع ذكور الأسود الأمريكية مسافات أكبر للغذاء مقارنةً بالإناث. إذن، من الواضح أن مقصورتك الأصلية الخاصة بالغذاء هي في الحقيقة اثنتان: الغذاء للذكور، والغذاء للإناث. وبالرغم من أن الغذاء قد يكون هو نفسه - إلا أن المسافة بين مواقع العرن أكبر للذكور، ليتيح لك ذلك زيادة نطاق البحث في الميدان لمواقع الفريسة المحتملة. أما الإناث فتبقى، في الغالب، أثناء فترة رضاعة صغارها أقرب إلى عرنها عند بحثها عن الغذاء، بخلاف الأوقات الأخرى. ولك الآن أن ترى، إن عنصرك الثاني الجديد يمكن تقسيمه أكثر إلى الإناث المرضعة مقابل الإناث غير المرضعة، باعتبارهما نموذجين لتوفّر الفريسة.

تحتاج لهذا التجميع أن تأخذ في الاعتبار، أيضاً، أن الفريسة ستحاول تفادي ضواريها (مفترسيها) كذلك؛ لذا فإنه من المتوقع أن تجد الأسود الأمريكية في أماكن تختبئ فيها قبل الهجوم. تعيش بعض الأسود الأمريكية، مثل

نمر فلوريدا، في المواقع التي تفتقر إلى معالم تضاريسية، لهذا فإنها سوف تلجأ للنباتات ذات الهياكل الرأسية لتتخفى فيها، في حين أن الأسود الجبلية في الأجزاء الجبلية من الجنوب الغربي من الولايات المتحدة ستستخدم على الأرجح ظواهر مثل النتوءات الصخرية، والوديان، والغدران، للبحث عن طعامها.

• **المياه:** تحتاج جميع الثدييات إلى المياه، بما فيها الأسود الأمريكية. لكن في حين أن المياه المفتوحة قد تكون ضرورية للإناث المرضعة - إلا أن ذلك أقل أهمية للذكور، الذين يحصلون على الكثير من مياههم من السوائل داخل فرائسهم. إذن، أنت ترى أن المياه قد تكون مدرجة في النموذج، ولكن قد يتطلب ذلك منك أن تجزئ نموذجك النظري إلى المياه للذكور والمياه للإناث. وكما كان الحال من قبل، فمقصورتك للإناث قد يتعيّن، أيضاً، أن تنقسم إلى الإناث المرضعة مقابل الإناث غير المرضعة.

• **العرن:** توفر العرن أماكن للمأوى، والحماية من عناصر الطبيعة، ومخابئ لتجنب الكشف. من الطبيعي أن نفترض أن مواقع العرن تظهر على الأرجح في أجزاء مختارة من تضاريس السطح؛ حيث توفر الصخور أو النباتات أماكن للتخفي. بالإضافة إلى ذلك، تشجع بعض تشكيلات الصخور على تكوين الكهوف، لكن لا تساعد بعض التشكيلات الأخرى على ذلك.

في حالة نموذج أسد الجبال، أنت قد أنشأت مسبقاً المقصورات العامة التي من خلالها تستطيع استخلاص تفاصيل أكثر كلما عرفت المزيد عن الأسد الأمريكي. إن نظام المعلومات الجغرافيّة نفسه من المرجح أن يكون مساعداً هنا، مع استخدامك لقياسات الرصد من بعد، وجمع أدلة أثر حديثة للموقع (الغائط وعلامات المخلب، على سبيل المثال). ومن خلال استخدام تحليل خاص بالموقع لكل من هذه النقاط (نقاط الرصد)، يمكنك أن تبدأ تفهم طبيعة أنواع النباتات التي يفضل الأسد الأمريكي التنقل فيها، وهذا بدوره يمكن أن يُستخدم لتحديد شيء ما حول نطاق النباتات المفضلة للفريسة، هذا بالإضافة إلى معلومات عن مواقع المياه والعرن. وبعبارة أخرى، تحتاج إلى الرجوع لجمع بيانات موضوعيّة عامة مثل المياه، والجولوجيا السطحية، والغطاء النباتي، وقياسات رصد من بعد، وبيانات لدلائل الأثر بهدف استخلاص عوامل ومواضيع أكثر تحديداً، وكلما توسّعت أكثر في البحث، جمعت المزيد من هذه البيانات. هذا النوع من النمذجة صعب؛ ذلك أنه يتطلب غالباً - وكما سبق لك وأن رأيت - تكرار عمليتي الاختبار والتقييم وذلك بهدف التحسين.

التجزئة الهرميّة

لقد بدأنا في حالة نموذج موطن الأسد الأمريكي بإنشاء مقصورات عامة تتعلق بمعرفة هرمية عامة إلى حد ما لضواري ماكرة كبيرة. لقد كان هذا ضرورياً؛ لأن النموذج هو في المقام الأول نموذج استقرائي، ولأن معرفتنا المحدّدة بمتطلبات بيئة سكنى الأسد الأمريكي كانت بدائية وناقصة أيضاً. نعود الآن إلى تخطيط نموذج ليسا، حيث

بدأنا بقائمة أولية للعوامل المحتملة المتصلة بهدفنا وهو المحافظة على الأراضي الزراعية. نحن بحاجة إلى إيجاد طريقة لتجميع هذه العوامل هرميا لمساعدتنا في تحديد العوامل الناقصة، والزائدة، والمرتبطة مع بعضها.

لقد رأينا أن هناك بعض العلاقات التصوّرية الواضحة تماماً تتعلق بأهداف وغايات نموذجنا المتمثّل في ليسا (LESA). هذه العلاقات مبنيّة على أساس منطقي، مقرونة بمعارف عمليّة عامة حول كيفيّة عمل المدن والمزارع مع بعضها في الواقع. ولمعرفة كيف تعمل العمليّة التصوّرية للنموذج، اخترنا العمل مع نموذج يسهل فهمه نسبيا. وللذين يريدون مجالا معرفيا أكثر تعقيدا أو أكثر تحديداً، فإنه من الأفضل أن يعمل المنمذجون بنظم المعلومات الجغرافيّة جنباً إلى جنب مع الخبراء في مثل هذا المجال؛ حيث يمكنهم أن يتبادلوا أفكارهم. لكن حتى إذا كان هذا النموذج نموذجاً بسيطا يتطلب فقط مفاهيم أساسية، أو نموذجاً معقداً يتطلب معرفة محدّدة تماماً، فإن إعداد قائمة بالظروف الجغرافيّة المحتملة، وبالعوامل والتفاعلات التي من المحتمل أن تشارك في هذا النموذج، لا يفي ذلك بالغرض بما يكفي. لهذا فالبديل هو أن ننظم هذه المكونات الأصلية في شكل من أشكال التراكيب المرتبة.

لعل أحد أبسط السبل للقيام بذلك هو إيجاد عدد من الفئات التي يمكن صياغتها في شكل مجموعات نموذجية أو قياسية، لتحتوي كل مجموعة منها على بعض البنود التي حدّدناها. وكما هو الحال مع أي مجموعة أخرى، يمكن أن تتشارك مجموعات هذه المفاهيم في عناصر مشتركة. تسمح لنا هذه المنهجيّة بضم أفكارنا المشتركة دون أن نضطر إلى عمل روابط مباشرة بين كل مفهوم وآخر. كما أنها تتيح لنا الاطلاع والنظر أولاً في فئاتنا لتحديد العناصر الناقصة في كل مجموعة، أو لنقلها من مجموعة إلى أخرى، أو التخلص من المجموعات غير اللازمة، أو إضافة مجموعات جديدة تماماً. سوف يصبح هذا أكثر أهمية عندما نبدأ في صياغة النموذج، ورسم مخطط عمله، وتنفيذه النهائي. كما أن هذه المنهجيّة يمكن أن تلعب، أيضاً، دوراً في مرحلة وضع التصوّر الأولي للنموذج.

دعونا الآن نأخذ قائمة الأفكار التي أنشأناها للجزء الخاص بتقييم الموقع في نموذج ليسا. هل تتشارك أيا من هذه المفاهيم في عناصر مشتركة بحيث تسمح لنا بتصنيفها؟ هناك طرائق عديدة لضم هذه العوامل في مجموعات، وذلك حسب الغرض الذي لأجله نريد أن نستخدم البيانات، وعليه فإننا بحاجة إلى أن يبقى هدفنا دائماً في أذهاننا، وهو تقييم الأرض باعتبارها مواقع زراعية أو غير زراعية. وعلى الرغم من أننا لسنا مقيدين بهاتين الفئتين - إلا أن ويليامز (١٩٨٥م) استخدم المجموعات الرسمية (القياسية) التي اقترحها قسم التخطيط بمقاطعة دوغلاس مع التشاور مع وزارة الزراعة الأمريكية. سنبدأ مناقشتنا حتى تستطيع أن ترى آليات هذا التجميع. سوف يتيح هذا لنا، أيضاً، الإشارة إلى الأعمال المنشورة لترشدنا في المشروعات المستقبلية.

تشمل المجموعات المقترحة لنموذج ليسا في مقاطعة دوغلاس، بولاية كانساس، ما يلي:

١- استخدام الأرض/ زراعية.

٢- الجدوى الاقتصادية الزراعية.

٣- أنظمة استخدام الأراضي.

٤- المواقع البديلة.

٥- توافق الاستخدام المقترح.

٦- التوافق مع الخطط الرئيسة المعتمدة.

٧- البنية التحتيّة.

تتناول المجموعة الأولى حصرياً استخدام الأراضي الزراعية القريبة من الموقع المقترح لتحويل الأراضي الزراعية. وكما رأينا سابقاً، فإن احتمالية إن الزراعة ستبقى في منطقة معينة، تتعزز، في الغالب، في حالة أن الأرض المجاورة أو القريبة هي، أيضاً، زراعية. وتهتم المجموعة الثانية بالجدوى الاقتصادية للزراعة، وهذا يشكل عاملاً حاسماً في تحويل الأراضي. وعلى كل حال، فإذا كانت الأرض مجدية زراعياً، فإنه ليس من المرجح أن نرى إمكانيّة تحويلها إلى استخدامات أخرى. أما المجموعة الثالثة، فهي مجموعة من العوامل القانونية، موجهة، في مجملها، من قبل الأجهزة الحكومية التي تضع قيوداً على الأرض، من ناحية الاستخدام، سواء كانت زراعية أو غير زراعية.

ولأن العامل المشترك في القرارات المتعلقة باستخدام الأرض لا يرتكز فقط على كون الأرض قابلة للاستخدام، سواء كان زراعياً أو غير زراعياً، ولكن، أيضاً، على مدى توفر مواقع بديلة للاستخدامات غير الزراعية، لهذا كان منطقياً أن تُوخذ المواقع البديلة في الاعتبار، وهذا ما تمثّله المجموعة الرابعة. إن توفّر المواقع قد يكون نتيجةً أو وظيفةً لقيود التقسيم (تخطيط الأرض)، أو قد يكون هناك أماكن أفضل، في الحقيقة، لتخصيصها لاستعمالات غير زراعية. كما يفرز التوسّع الحضري، أيضاً، ضغطا على الأراضي الزراعية، ممّا يجعل عامل توفر الأراضي أكثر أهمية.

تتمحور عوامل المجموعة الخامسة حول قضايا التوافق أو التناغم؛ حيث تحاول الربط بين الاستعمالات غير الزراعية المقترحة مع كل من العلاقات الجمالية والمادية للأرض الموجودة مع تلك الاستعمالات المقترحة. تجيب هذه القضايا على الأسئلة المتعلقة بإمكانية أن يتداخل الاستخدام المقترح مع حسن تناغم الاستخدامات المحيطة، أو أنه يمكن أن يؤدى إلى اضطراب في أنماط تصريف الفيضانات، أو يسهم في زيادة التلوث، أو يُنقِص من الاستحسان البصري للمناطق الجميلة، أو يزعج المحميات الأثرية، والتاريخية، والأحيائية القريبة منها.

بالرغم من أن هناك قيود قانونية على الأرض، بالإضافة إلى الطلبات على قاعدة محدودة من الموارد، فإن العديد من المجتمعات لديها سياسات مطبقة خاصة بضبط التوسّع والتي تعد تعبيراً عن الرغبة في إدارة تغير استخدام الأراضي. هذه السياسات في الغالب عبارة عن مجموعة من المبادئ التوجيهية أكثر من كونها قيوداً، وكثيراً ما يتم صياغتها رسمياً في شكل مخططات شاملة. وتوجد العديد من هذه المخططات الشاملة في شكل مجموعة من الفقرات

والبنود التي تصف الأهداف والغايات العامة للخطط، ولكن بعضها مصاغاً في شكل وثائق خرائطية تشير إلى مناطق النمو في المستقبل. وفي الحالة الأخيرة، يمكننا بسهولة الحصول على صيغ مكانيّة للقرارات التي تكون بالمقابل أقل مكانيةً.

إن تجميع العوامل التي رأيناها للتو هي نفسها التي صممت من قبل فريق العمل الخاص بنموذج ليسا في مقاطعة دوغلاس، وهي عبارة عن مجموعة عوامل منطقيّة إلى حد ما. قد تسأل، كمنمذج: هل كانت هذه التجمعات هي الوحيدة الممكنة؟ وهل يمكن أن ينتج التجمع المختلف مجموعةً من المُخرجات مختلفةً كلياً؟ الجواب على السؤال الأول هو كلا، فليست هذه هي الطريقة الوحيدة التي يمكن أن يُجزأ بها نموذج ليسا في نظم المعلومات الجغرافيّة. والجواب على السؤال الثاني هو نعم، إلى حد ما. هناك العديد من المجموعات والصيغ المتوافقة والمعدلة متاحة حتى لهذا النموذج الوصفي البسيط، وبناءً على الطريقة التي تختارها لتصور النموذج فإن هذا سيكون له تأثير على نتائج النموذج. يمكن للمرء أن يفترض، على أي حال، أنه بالرغم من أنه ستوجد بعض الاختلافات من تصور نموذج واحد إلى آخر - إلا أنه يجب ألا تختلف النتائج بشكل كبير إذا كان التصوّر المفاهيمي للنموذج تم التوصل اليه عن طريق منهجيات منطقيّة وحسب أهداف مأخوذة في الاعتبار. ولقد ولّف كل من ديميرس ولكي (DeMers and Luckey, 1986-1987)، على سبيل المثال، مجموعة من العوامل لنفس النموذج المستخدم لمقاطعة دوغلاس والذي يعد مختلفا بعض الشيء عن الأصل، وتتألف من خمسة تجمعات (فئات) فقط: قضايا استخدام الأراض، والتوافق مع الخطط المعتمدة، وتوافقات أخرى، وبقاء الزراعة - قابليتها على الاستمرار، والبنية التحتيّة الحضريّة. لقد تم تصميم هذا بهدف الحد من تكرار العوامل التي حدّدها فريق العمل مسبقاً. كما أن هناك أساليب أخرى استخدمت نفس التجمعات لكنها اشتقت مجموعات عوامل مختلفة إلى حد ما (Demers, 1985).

واستدراكاً لتساؤلك المتوقع اللاحق، تذكر أن وضع تصور للنموذج ما هو إلا الخطوة الأولى العامة في بنائه، إذ أن صياغة النموذج ورسم مخطط سير عمله - كما سيأتي في الفصل القادم - سوف يساعدنا على الاحتفاظ بمفاهيم أو تصورات النموذج أيا كان عددها والتي تتماثل فيما بينها بشكل معقول. وفي نهاية المطاف، سيكون لكل منمذج أفكار مختلفة، وخلفية مختلفة، وتحيزات مختلفة، أيضاً. قد تحقق بعض المنهجيات نتائج مماثلة تقريباً على الرغم من أنها قد تكون أكثر أو أقل رصانة في تركيبها، في حين أن بعضها قد تبدو متماثلة في مفاهيمها تماماً لكنها تحقق نتائج مختلفة. أما الهدف من ذلك فهو إنتاج نموذج معقول، وقابل للتحقق منه، ومقبول، خصوصاً نموذج يمكن صقله بعد دراسة المنتجات المعلوماتية المكانيّة. وباختصار، ينبغي أن يكون النموذج قابل للتبرير والدفاع عنه والتعديل، على حد سواء.

إضافة البعد المكاني

عند مناقشتنا للتجزئة في نموذج نظم المعلومات الجغرافيّة، أشرنا، في بعض الأحيان، إلى كيف يمكن أن ننتقل من العوامل إلى البيانات المكانيّة. إن إضافة البعد المكاني لمكونات نموذجنا التصوّري هي مسألة تتعلق بسؤال جغرافي تقليدي: هل يمكن تمثيل ذلك خرائطياً؟ قد تبدو الإجابة على هذا بسيطة لأولئك الذين هم على دراية واسعة بالتمثيلات الخرائطيّة وأبعاد وأنواع البيانات التي يمكن أن تكون ممثلة على الخرائط، ولكن العديد من أنواع البيانات لا تسمح بعرضها خرائطياً بسهولة، خصوصاً إذا لم يكن لها بعداً مكانياً صريحاً. من ناحية أخرى، قد يكون لدى الآخرين بيانات مكانيّة لكنها غير متاحة في الوقت الراهن في شكل خرائطي، مثل الجداول الإحصائيّة، أو مواقع الأسود الأمريكية في أماكن محدّدة بالضبط (نقطية)، أو المواقع الأثرية. لكن ما يزال آخرون يحتاجون إلى إضافة بعض التحليل بنظم المعلومات الجغرافيّة في شكل مجموعة مفيدة من الخرائط الموضوعيّة التي يمكن بناء نموذج منها. سوف نبحث في نموذج ليسا لتوضيح بعض من هذه المشكلات وتحديد بعض الحلول الممكنة.

سنجد مع بداية أول مقصورة – أو النموذج الفرعي حسب صياغة ويليامز (١٩٨٥م) – إننا مهتمون بوجود الأراضي الزراعية في المنطقة المقترح تحويلها وما جاورها. هذه الجملة الغامضة إلى حد ما لها في الواقع ثلاثة عناصر أساسية، وهي في الأساس كلها مكانيّة: (١) أرض في الموقع، و(٢) أرض مجاورة للموقع، و(٣) أرض ضمن مسافة محدّدة من الموقع. لدينا، أيضاً، مكونات مكانيّة متوفرة بسهولة على الأقل لبعض العوامل في المجموعة الثانية – الجدوى لاقتصادية الزراعية. وكما رأينا سابقاً، فإن حجم المزرعة – عامل مكاني في الأساس – يضع قيوداً على قدرة المزارعين على القيام بأمور معينة، مثل تشغيل حراثة لقلب التربة واستخدام معدات الحصاد الكبيرة. كما يضع حجم قطع الأراضي، سواء في مجال الإنتاج الزراعي أو غيره، قيودا على قابلية نجاح الزراعة المحتملة فيها؛ ذلك لأن القطع الصغيرة تكون أقل جاذبية كمواقع زراعية محتملة بخلاف لو تم جمع مزارع صغيرة لنفس السبب. ومن العوامل التي اقترحها فريق عمل نموذج ليسا عامل سُمي بالاستثمار الزراعي في المنطقة. ويتعلق هذا العامل بالأموال التي تنفق على المعدات الزراعية، والترب ومباني المزارع، والطرق، ومجموعة واسعة من العوامل غير المكانيّة. لقد اضطر وليامز (١٩٨٥م) أثناء فترة البحث إلى التخلي عن هذا العامل، وترك جزءاً من نموذج ليسا فارغاً، وهذا بالتأكيد خيار. وعليه، فنحن أمام حلين: إما أن نستثنيه من النموذج، ممّا يشير إلى أن النموذج نفسه يجب أن يتغير ليعكس هذا الحذف، وإما أن نبقي العامل بوصفه عنصراً مكانياً غير مُتضمَّن في نسخة النموذج. وفي الحالة الأخيرة، قد نرغب في توثيق ذلك بجملة صريحة حول هذا النقص النسبي في النموذج.

دعونا الآن قبل اعتماد هذه الاستراتيجية أن نبدأ أولاً بدراسة أكثر عمقاً للبدائل المكانيّة الممكنة التي يمكن أن نوظفها لمساعدتنا في استخدام الاستثمار الزراعي باعتباره عنصراً عاملاً في نموذجنا. دعونا نفترض، على سبيل المثال، أن لدينا إمكانيّة الوصول إلى السجلات المالية لملاّك الأراضي الزراعية. يمكننا، على سبيل المثال، أن نربط

مجموع الاستثمار السنوي في الآلات الزراعية، أو الطرق الجديدة أو المباني الجديدة، أو صيانتها وتحديثها بأي من هذه العناصر أو كلها. كما يمكن أن نقسم هذه الاستثمارات، أيضاً، على حجم المزارع الإجمالي. هذا من شأنه أن يقدم لنا طريقةً واحدةً على الأقل لإضافة عنصر مكاني لعامل النموذج. بالإضافة إلى ذلك، فإننا يمكن أن نشمل عنصراً مرتبطاً بحساب حصة المتر الواحد من الدولارات لتلك العوامل مثل المباني والطرق الجديدة التي تأخذ بالطبع حيزاً مكانياً. هذه المنهجيّة الأخيرة لا تأخذ في الاعتبار شراء أو صيانة الآلات الزراعية، لكنها توفر لنا على الأقل وسيلة أخرى تشمل هذا العامل (الاقتصادي) في نمذجتنا المكانيّة. قد تكون قادراً على التفكير في بعض الوسائل الإضافية لتحويل هذا العامل غير المكاني إلى عامل مكاني معين قابل للقياس الكمي.

ثمة نهج آخر وهو أن تدرج فكرة الاستثمار الزراعي ليس بوصفه عاملاً مكانياً ولكن باعتباره معاملاً مضاعِفاً غير مكاني (وصفي). فعندما نحتاج، على سبيل المثال، إلى الجمع بين العوامل المكانيّة بشأن قابلية الزراعة على البقاء والنجاح، فإنه من السهل أن نربطها مع متوسط كمية الاستثمار السنوي بالدولار لكل مزرعة. وبهذه الطريقة، يكون عامل أو عنصر الأستثمار الزراعي عنصراً مشمولاً في عمليّة النمذجة، لكن دون حاجة إلى بيانات مكانيّة تدعمه.

يتألف عنصر الإجراءات النظامية لاستخدام الأرض من ثلاثة عوامل أساسية، اثنان منها يتعاملان مع تفويضات قانونية ذات صلة خاصة بتقسيم المناطق (تخطيط الأرض)، أما الثالث فلا علاقة له بذلك. يشمل عنصرنا المكاني في المقام الأول المتوفر من الأراضي وهو الذي خُصِّص لأغراض غير زراعية. ولكي نتبع منهجيّة بسيطة، يمكننا أن نفترض أن جميع الأراضي التي لم تحدّد لأغراض زراعية بحيث يمكن أن تكون مؤهلة للتحويل. هذا يعني أن عنصرنا المكاني متوفر بسهولة في خرائط التقسيم (التخطيط) (Zoning maps). يمكننا، أيضاً، أن نعدّل هذا العنصر المكاني ليشمل كل استخدام من الاستخدامات غير الزراعية وذلك بشكل مستقل. وبهذه الطريقة، نستطيع أن نفحص هذه الخرائط للاستخدامات الصناعية الخفيفة، وذلك في حالة كون هذا هو الاستخدام الذي نريد أن نحوله إلى استخدام زراعي. قد يتطلب هذا منا أن نشغل النموذج عند كل تحويل مقترح للاستخدام الأرضي. أما البديل الآخر لعنصرنا المكاني الثاني فهو يتعلق بالمواقع البعيدة للاستخدام المقترح، ويمكن الحصول على البيانات من نفس المصدر - خرائط التقسيم.

إن العامل المتبقي من تنظيم استخدام الأرض -الحاجة إلى مزيد من الأراضي في المناطق الحضريّة- فهو عامل أكثر تعقيداً بعض الشيء؛ ذلك أنه يتطلب منا أن ننشئ بعداً مكانياً لعامل غير مكاني في الأصل. وفي هذه الحالة، هناك ما لا يقل عن جزئين أساسين للبعد المكاني يحتاجان إلى دراسة. الأول هو الحدود الحضريّة الحالية، الأمر الذي يستلزم رسم خرائط لهذه الحدود، أو الحصول على خريطة لحدود المدينة الحالية. هذا قد يتطلب تعديلاً، على أي حال؛ ذلك لأن حدود المدينة لا تمثّل إقليماً أو منطقةً متجانسة بل منطقة مجزأة تتألف من مجموعة

واسعة من استخدامات الأرض القائمة. وكما ترى، يتطلب هذا منا أن ننشئ عنصراً فرعياً يشمل هذين المفهومين في مجموعة واحدة (الشكل رقم ٦,١). تكمن أصعب مهمة في إسناد أبعاد مكانيّة إلى المواقع البديلة بناءً على الصيغة اللفظية التي تنص على أننا نبحث عن "توفر" الأراضي البديلة و"الحاجة" لأراضي حضرية. أما تحديد هاتين الصيغتين كميّاً من منظور البعد المكاني فقد يأخذ أبسط أشكال الصيغ الكمية، إذ كل الذي يجب عمله هو أن نحسب المجموع العام لهذه الوفرة أو الحاجة ضمن منطقة دراستنا. يتم – بعدئذ – تعديلهما بحيث يمثّل كل منهما في شكل طبقة خلوية موضوعيّة ذات قيمة واحدة محسوبة على أساس مجموع مساحة الأرض. هذا سيفي بالغرض من منظور النمذجة، ومع ذلك سوف نرجع لذلك لمزيد من التفصيل وذلك لتحديد منطقية هذه المنهجيّة من وجهة نظر تخطيطية عامة. ونود أن نسأل أنفسنا الأسئلة التالية، على سبيل المثال: (١) هل الجمع للأرض الحضريّة الحالية يعطينا فكرة أو إشارة ما حول نمو المدينة السابق؟ (٢) هل الجمع للأرض الحضريّة الحالية – القائمة – يعطينا إشارة حول أين يوجد ضغط النمو الأكبر حالياً والأماكن المحتملة له في المستقبل؟ (٣) هل يعطينا هذا أيّ معلومة عن نمو السكان أو التنبؤ بهم في المستقبل؟ سوف نتخذ لمثالنا الحالي أبسط منهجيّة – إلا إنه قد يكون مثيرا للاهتمام إذا رأينا أن بعض نماذج النمو الحضري قد لا تساعدنا في هذا المسعى، أو أن بعض نماذج الانتشار الحضري أو أنواع استخدامات الأرض الأخرى يمكن تضمينها مباشرةً في النموذج.

تتطلب المقصورة التالية أن ننشئ البعد المكاني الذي يعالج التوافق أو الملاءمة للاستخدام المقترح. إن التوافق مع المنطقة المجاورة أو المحيطة يعد مفهوماً غامضاً ويتطلب منا أن نقيّم التجاور وقياس المسافات من الموقع المقترح. ولعل أبسط أشكالها، أن نقارن الاستخدام غير الزراعي المقترح لقطعة أرض معينة (واضحة مكانياً) مع الاستخدامات الأخرى للأرض (واضحة مكانياً، أيضاً). يتعامل الجزء الغامض، مرة أخرى، مع المصطلحات. لكن قبل أن نصيغ أو نرسم مخططاً لسير عمل هذا الجزء من نموذجنا، يجب علينا أولا أن نحدّد مصطلحاتنا بوضوح، مثل: أيّ استخدامات الأرض التي تتوافق مع بعضها؟ لكن قبل ذلك، من الضروري أن نقيّم كل زوج من الاستخدامات على حدة. ولتبسيط هذه المشكلة، يمكننا أن نبدأ بتحديد معايير واضحة مثل هذه: (١) الاستخدامات المتماثلة للأراضي هي متوافقة مع بعضها؛ (٢) الاستخدامات المتشابهة للأراضي والقريبة من بعضها هي أكثر توافقاً من تلك المتباعدة عن بعضها؛ و(٣) سيُعطى تقييم التوافق الأكبر، عادةً، للأراضي الزراعية المجاورة للاستخدامات الزراعية الأخرى؛ لأن هدفنا الأساس -كما حدّدناه سابقاً – هو الحفاظ على أفضل الأراضي الزراعية بقدر الإمكان. كما أن التوافق مع الظواهر المتميزة سواء كانت طبوغرافيّة، أو تأريخية، أو ظواهر الغطاء الأرضي، أو المناظر الطبيعية يمكن فصلها إلى مقصورتين واضحتين؛ لأنها ترتبط بموقع الأرض نفسه والأراضي المجاورة له، وذلك على حد سواء. أما ما يتعلق بالمقارنة النوعية في الموقع نفسه، فنستطيع أن نعمل مقارنات بسيطة للظواهر الممثلة مسبقاً، أو التي يمكن تمثيلها من البيانات المكانيّة. ويمكن تحديد التجاور بسهولة من

خلال مقارنة الموقع المستهدف مع الخلايا الأقرب له في الشبكة الخلويّة. تبدو هذه العمليّة الأخيرة، على كل حال، مبسطة إلى حد ما ويمكن توسيعها (سواء في هذه المرحلة أو في مرحلة تحسين النموذج) لتشمل مهاماً، مثل تحليل التحزيم (Buffering)، أو تحليل الرؤية؛ حيث إن المشاهد أو المناظر غير المحبذة، مثل المداخن وغيرها من الظواهر المماثلة، يمكن اخفائها عن مناظر استعمالات الأراضي والظواهر الجميلة المجاورة من خلال زرع نباتات أو بناء معالم طوبوغرافية تحجبها. تتطلب هذه قدراً كبيراً من النمذجة الإضافية، وربما ينتج عن ذلك تكلفةً زائدةً على حساب مالك الأرض الذي يقترح الاستخدام البديل للأرض. وعلى أي حال، سوف نركز في نموذجنا الأولي على البيانات المكانيّة المتاحة حالياً؛ تلك التي تدور حول استخدامات الأرض الحالية والمقترحة والظواهر الفريدة.

ثمة مقصورة فرعيّة أخرى ستكون ضرورية لتقييم التوافق مع تلك الأنشطة التي قد تؤثر على الفيضانات، أو شبكة تصريف المياه، أو التخلص من النفايات ومشكلات التلوث. وسنكون بحاجة، على الأقل، إلى خرائط للتربة وللمياه السطحية ولشبكة تصريف المياه؛ ذلك حتى يمكن أن نقيّم من خلالها هذه المشكلات. ولعل المنهجيّة البسيطة لحل هذه المشكلة، إجراء مقارنة بين استخدام الأرض المقترح ومواقع التربة المخصصة لهذا الاستخدام (خرائط التربة). الافتراض، هنا، (مع أنه افتراض غير آمن دائما) هو إن مثل هذه الخرائط قد أخذت بالفعل مثل هذه العوامل في الاعتبار. ويمكن قول الشيء نفسه لخرائط نطاق الفيضان لفترة تمتد إلى (١٠٠) سنة. كما أن التحليل الأكثر تفصيلاً قد يستلزم منا إجراء عمليات تقييم تدفق المياه السطحية والجوفية من خلال استخدام القدرات النمذجية للتدفق في نظم المعلومات الجغرافيّة وذلك للتأكد من التلوث المحتمل للمياه ومشكلات الصرف خارج الموقع.

لدينا، أيضاً، مقصورة أساسية أخرى تتعامل مع التوافق، ويعد إنشائها كبعد مكاني سهلاً من الناحية التصوّرية: التوافق مع الخطط الرئيسة المعتمدة، والتوافق مع المناطق المخصصة لمجالات النمو، أو مع أحدهما. عادةً ما نفترض أن هذه متاحة في شكل خرائط أو يمكن تحويلها خلال فترة زمنية معقولة.

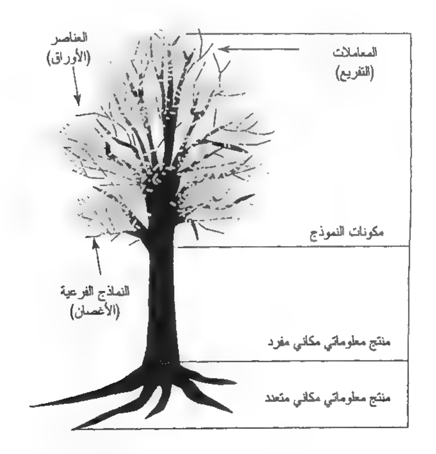
أما آخر مقصوراتنا التي تتعامل مع البنية التحتيّة الحضريّة فإنها تتطلب منا الحصول على بيانات مكانيّة عن كل عنصر من عناصر البنية التحتيّة. فالبعد عن حدود المدينة، ومرافق النقل، وشبكات المياه المركزية، والصرف الصحي، على سبيل المثال، عادةً ما تتطلب منا أن نقيس المسافات (كنطاقات تحزيم) من كل موقع من المواقع المعروفة لهذه المرافق والخدمات. من الواضح أنها مهمة نمذجية عامة نسبياً، لكنها يمكن أن تصبح أكثر دقة إذا ما أردنا دراسة العُقَد على طول الظواهر الخطّيّة حيث تكون الإنضمامات (التقاء الخطوط) عندها أكثر كفاءة وأكثر فاعليّة من حيث التكلفة. مرة أخرى، يمكن أن نترك ذلك للمنمذجين الأكثر تقدماً.

تحديد عناصر البيانات الممكنة

يتعيّن علينا في الخطوة الأخيرة في تصور النموذج أن نحدّد، بدرجة معينة من الدقة، إمكانيّة توفر البيانات المكانيّة. قد لا تكون هذه البيانات فعلاً متاحة في شكل خرائطي، لكنها ينبغي أن تكون قابلة للتحويل بسهولة. هذا في

الواقع ما هو إلا صياغة صريحة للخطوة الأخيرة التي بموجبها أضفنا البعد المكاني لنموذجنا التصوّري الأولي. ورغم أن تحديد العناصر الخرائط الفعليّة أمرٌ مهم – إلا أنه وبنفس القدر من الأهمية ينبغي، هنا، أخذ العوامل والعناصر غير الخرائطيّة في الحسبان. وكما رأينا من قبل، قد يتطلب هذا استخدام بدائل لتحل محل البيانات المكانيّة الصريحة.

وكمنهجيّة لتحديد العناصر المكانيّة، نحن بحاجة إلى إعادة النظر في التسلسل الهرمي لمقصوراتنا ومعالجة كل منها باعتبارها فرعا رئيسياً في الهيكل الشجري (الشكل رقم ٦,٩). فيمكن تصور النموذج النهائي على أنه جذع شجرة، وتمثّل المقصورات فيه على شكل فروع متعاقبة في الصغر. وما أن نصل إلى نهاية كل فرع من الفروع، تظهر – عندئذ – الأوراق، التي تمثّل العناصر الخرائطيّة الفعليّة أو الخرائط المصدريّة التي تُشتق منها جميع العناصر الأخرى. هذا يجبرنا على أن نستبعد العناصر غير المكانيّة (الوصفيّة) لأنها ليست فروع ولا أوراق، لذا سوف نتجاهلها، في الوقت الحاضر، وسنتطرق لها في الفصل التالي؛ إذ أن لها علاقة بصياغة النموذج ورسم مخطط سير عمله. لقد أنشأنا، هنا، شجرتنا لتحديد ما نقص منها من فروع أو أوراق.



الشكل رقم (٦,٩). تصور دانا توملن لنموذج هرمي استنادا على التشابه مع الشجرة.

عندما نستعرض مخطط سير عمليّة التصوّر في الشكل رقم (٦,١) فإننا سوف نلاحظ أن العمليّة ليست خطّيّة محضة، بل يمكن أن ننظر إلى المخطط باعتباره مخططاً لسير عمليّة معاودة (تكراريّة) تسمح لنا بالإجابة بنعم أو لا على الأسئلة عند نقاط رئيسة لمساعدتنا حتى النهاية. وبواسطة السير المعاود التكراري خلال الجزء التصوّري من المخطط (الجزء على يسار الشكل)، نواصل إضافة أو حذف العوامل على أساس المناقشات التي نجريها مع شركائنا (زبائننا) (أو نراجع قرينة النمذجة إذا كنا نعمل النموذج لأنفسنا). ومن الناحية النظريّة، عندما نستطيع الإجابة بنعم في كل مرة على كل سؤال يتعلق بالعنصر المكاني، فإننا - عندئذ - قد انتهينا من وضع التصوّر. إلا أن هذا لا يعني أن جميع العوامل التي أُخذت في الاعتبار هي عوامل ذات أبعاد مكانيّة صريحة، بل يعني فقط ما يلي من إجراءات: فإما أننا وجدنا فعلاً أبعادا مكانيّة لهذه العوامل، وإما أننا استطعنا إيجاد بدائل لها، وإما أننا خصصنا معامِلات تعالج بعض هذه العوامل غير المكانيّة في ظل غياب البيانات الخرائطيّة الموضوعيّة، وإما أننا قررنا حذفها كلياً من النموذج الحالي. سوف نناقش هذه الأمور العالقة والغايات غير الواضحة أكثر صراحةً في الفصل التالي.

مراجعة الفصل

إن تصور نموذج مبني على نظم المعومات الجغرافيّة هو امتداد لتفكيرنا المكاني يُطبّق على مجموعة محدّدة من أهداف وغايات النمذجة بنظم المعلومات الجغرافيّة. فعندما نقوم أولاً بتحديد المنتجات المعوماتية المكانيّة المتوقعة، فنحن نعمل بطريقة رجعية إلى الوراء نعيّن من خلالها المفاهيم والعوامل المكانيّة العامة التي يتألف منها النموذج. وللنماذج التي نحن على دراية نسبياً بمفاهيمها العامة أو التي مفاهيمها واضحة نسبياً، يمكننا أن نبدأ النمذجة بسرد هذه المفاهيم، ثم في وقت لاحق نقسمها في شكل مقصورات لتساعدنا في تطوير نماذج فرعيّة. وفي حالات أخرى، لا سيما عندما لا تكون العوامل المكانيّة مألوفة لنا نسبياً، أو أن هدف النمذجة هو استنتاج التفاعلات بين العوامل المكانيّة، فإننا نقوم بإنشاء مقصورات عامة أولاً، ثم نغذيها بعوامل محدّدة إضافية متى ما علمنا بها. قد يكون هذا الوعي نتيجةً لهذه التجزئة نفسها، أو قد نحتاج إلى شكل ما من أشكال الطرائق الإحصائيّة أو التجريبيّة التكراريّة وذلك لمساندتنا في عمليّة النمذجة.

يبيّن نموذج نظم المعلومات الجغرافيّة لتقويم الأرض وتقدير قيمة الموقع (ليسا) لمقاطعة دوغلاس، كانساس، كيف أن تحديد العوامل والمفاهيم ذات الصلة يمكن أن تكون طريقة تصور فعالة لكيفيّة وضع النموذج في شكله النهائي. ومع ذلك، يتطلب الأمر حتى مع هذه النماذج الواضحة، ولو نسبياً، أن نقوم بعمليّة فحص متكرر للمفاهيم وذلك لتحديد الناقص أو الزائد من العوامل. ومن خلال إيجاد مقصورات وظيفية، يمكننا رؤية تصميم النموذج العام بشكل أفضل للتأكد من اكتمال وسلامة نموذجنا. بالمقابل، فنموذجنا الخاص بموطن أسد الجبال، يتطلب منا أن نستعرض العوامل العامة لمتطلبات الموطن نفسه، ممّا يسمح لنا بصقل النموذج من خلال تطبيق تقنيات تجريبيّة وإحصائية متكررة على عينة من بيانات أسد الجبال.

بعد أن نطمئن على توفر مجموعة معقولة من عوامل النموذج، يجب علينا - بعد ذلك - تحديد أيّ من هذه العوامل التي لها عناصر مكانيّة متاحة بسهولة؛ بحيث يمكن أن نمثلها خرائطياً. تتوفر بعض العوامل في شكل بيانات خرائطية (على سبيل المثال، خرائط التقسيم). في حين ستصبح الأخرى متوفرة فقط في حالة خرائط موضوعيّة مؤقتة أثناء النمذجة بنظم المعلومات الجغرافيّة نتيجة للتحليل (على سبيل المثال، يتطلب القرب من مصادر المياه المتاحة منا إجراء بعض القياسات للمسافة). بعض العوامل هي بطبيعتها غير مكانيّة وسيتطلب منا وضع بدائل مكانيّة (على سبيل المثال، الحاجة إلى مزيد من الأراضي للاستخدامات غير الزراعية). سيكون هناك، أيضاً، بعض العوامل التي إما أن تكون وصفيّة (غير مكانيّة)، وإما لا يوجد لها بيانات متوفرة، ممّا قد يتطلب منا أن نسقطها من نموذجنا الأولي، في انتظار بعض العوامل الأخرى التي قد تتوفر من بحوث في المستقبل، والإنتاج الخرائطي، والقرارات السياسية أو القانونية.

لقد قُصد من وضع التصوّر لنموذج نظم المعلومات الجغرافيّة أن يكون فقط الخطوة الأولية في عمليّة النمذجة. ومع اكتمال هذا التصوّر، فإنه سوف يكون لدينا أفكاراً عامة حول ما هية الخرائط الموضوعيّة التي قد نستخدمها أو ننشئها، وكيف يمكن أن ترتبط ببعضها بشكل عام، ومدى توفرها النسبي. إلا أن ما لا يفعله هذا التصوّر هو أن يقدم لنا عناصر خرائطية موضوعيّة محدّدة، وروابط تشغيلية، وتسلسلاً وظيفياً، وأوامر محدّدة لنظم المعلومات الجغرافيّة اللازمة لإكمال النموذج. وهذا هو موضوع الفصل التالي عن صياغة النموذج في نظم المعلومات الجغرافيّة ورسم مخطط لسير عمله.

مواضيع المناقشة

١- عندما درسنا تحديد الأهداف لنماذج نظم المعلومات الجغرافيّة الوصفيّة، كان لدينا منهجيتان مختلفتان تماماً: في المثال الأول، قمنا بتجميع قائمة من العوامل والمفاهيم المتعلقة بالأهداف العامة للنموذج، وفي الآخر، بدأنا أولاً بالتقسيم من خلال عمل مقصورات، ثم حاولنا تجزئة هذه الأهداف والعوامل إلى وحدات منفصلة. ناقش الأسباب الرئيسة التي جعلتنا نستخدم هاتين المنهجيتين المختلفتين. ما هي تلك الأسباب بالتحديد؟ هل يمكن القول بأن طريقة واحدة متفوقة على غيرها؟ هل يمكن تطبيق أيّ منهجيّة على أيّ نموذج تصوري؟ ما الذي تراه من سلبيات جراء تطبيق طريقة واحدة مقارنةً بالأخرى لأنواع النماذج المختارة؟

٢- ما الاختلافات الجوهرية التي تراها بين تصور النماذج الوصفيّة والنماذج الموصِّفة؟

٣- إن أحد المهام التحليلية الشائعة في نظم المعلومات الجغرافيّة هي وصف المواقع المناسبة لتلك الأنشطة مثل التخلص من النفايات الصلبة. وكمجموعة عمل، اختاروا جزءاً من محيط المنطقة المجاورة لكم بالمدينة. قسّموا المجموعة إلى مجموعات فرعيّة وابدأوا ببناء تصور للنموذج. أولاً، قرروا ما ستبدؤون به سواء بمجموعة من المعايير،

أم ستبدؤون بإنشاء تنظيم معين في شكل تسلسل هرمي. اتّبعوا العمليّة المشروحة في الشكل رقم (٦,١) حتى يتم تحديد مجموعة متزنة من المتغيرات والمعايير المكانيّة التي تلائم متطلباتكم. وما إن تنتهوا من ذلك، قارنوا نتائجكم مع نتائج المجموعات الفرعيّة الأخرى. هل وجدتم أيّ اختلافات؟ ما الذي يُحسب لها؟ هل يمكن أن تضعوا مع بعض نسخة أكبر وأكثر شمولاً لتصور نموذجكم بعد هذه المناقشة؟

٤- في مناقشتنا للعناصر المكانيّة لنموذج تقييم الأرض وتقدير قيمة الموقع (ليسا) لمقاطعة دوغلاس، كانساس، اكتشفنا أن مجموعة الاستثمار الزراعي كانت أساساً غير مكانيّة. درسنا اثنين من البدائل وذلك إما للتخلص من هذا العامل، وإنتاج معامِل منه، وإما لإنتاج بدائل له. ناقش بعض الحلول البديلة، وبيّن قدرتك على تطبيقها.

٥- ناقش أوجه القصور في نموذج ليسا عندما يكون الموضوع الرئيس هو البحث عن توفر المواقع البديلة. كيف يمكن إضافة نماذج النمو السكاني، ونماذج الانتشار، ونماذج توسّع المناطق الحضريّة في الماضي والحاضر، ونماذج اتجاه النمو الحضري إلى نموذج ليسا الحالي وذلك لتحسين أداءه؟

٦- ما أنواع النماذج المتطورة التي قد تكون مطلوبة لتعالج بدرجة أكبر من الدقة مشكلات الصرف الصحي، أكثر من مجرد تنفيذ خريطة بسيطة لمنطقة الفيضانات؟ أجب على نفس السؤال للمشكلات المتعلقة بالتخلص من النفايات في نفس الموقع، وليس مجرد النظر فقط في نوعية الترب لمثل هذا التحليل.

٧- استعرض عوامل تقيم الموقع في نموذج ليسا التي درستها في هذا الفصل في ضوء الطريقة البديلة لعمل المجموعات التي اقترحها ديميرس و لوكي (١٩٨٦-١٩٨٧م)، خاصة التفاعلات بين العوامل. ناقش مشكلة ازدواجية العوامل، خصوصاً وأن جزء تقييم الأرض في النموذج يستند على التربة، مثل بعض عوامل تقييم الموقع الأخرى. اقترح سبلاً يمكن أن تساعدك في التخلص من هذا التكرار.

٨- ناقش المزايا لنموذج خطي بسيط قائم على نموذج ليسا بنظم المعلومات الجغرافيّة مقارنةً بنموذج أكثر تعقيداً من منظور التحقق من صلاحية النموذج وصحته. احتفظ بملاحظاتك الآن لتناقشها أكثر في الفصل التاسع.

٩- لماذا يعد منهج تصورنا منهجاً خطياً؟ هل يجب أن يكون نموذجنا بالضرورة مكتملاً بمجرد الانتهاء من تجزئته في مقصورات وإضافة البعد المكاني؟

أنشطة تعليمية

١- افحص قائمة العوامل التي طُوّرت في هذا الفصل عندما أنشأنا النموذج التصوّري لنموذج ليسا. الآن، قارن هذه العوامل مع تلك الموجودة في مقال ويليامز (١٩٨٥م). ومع الأخذ في الاعتبار أن ويليامز انطلق في عمله حصرياً من القائمة الفعليّة التى قدمها فريق عمل نموذج ليسا في مقاطعة دوغلاس، كانساس، اقترح العوامل التي

قد تشملها أنت في نموذج ليسا لمقاطعة دوغلاس. بيّن كيف أن إنشاء قائمة من العوامل قبل بناء قاعدة البيانات يمكن أن يعزز النموذج وإمكانياته بوصفه أداةً لدعم صنع القرارات؟

٢- اذهب إلى هذا الموقع على الانترنت (www.wiley.com/college/geog/demers314234/) وانقر على Student ، ثم على Online Resources for Students. في النافذة الجديدة، اذهب إلى العمود في الجهة اليسرى تحت Exercises in GIS. ستظهر قائمة بقواعد البيانات المستخدمة لـ Fundamentals of Geographic Information Systems. يوجد في الأسفل قاعدة البيانات لنموذج ليسا التي استخدمها ويليامز والتي تم تعديلها لتتوافق مع برنامج المحلل المكاني من ESRI. حمّل هذه القاعدة وافحص الخرائط الموضوعيّة المدرجة فيها. انظر في قواعد البيانات الخاصة بعوامل تقييم الموقع وافحص الخرائط ومحتوياتها. من إجابتك على السؤال الأول، اقترح ما تراه ضرورياً من التغطيات (الطبقات) الإضافية لإكمال النموذج الذي وضعنا له تصوراً في هذا الفصل.

٣- بيّن كيف أن البدائل يمكن أن تستخدم لاستكمال قاعدة البيانات لمقاطعة دوغلاس عندما تكون بعض الطبقات ناقصة، خصوصاً إذا كان السبب يعود في الأصل إلى طبيعتها غير المكانيّة (وصفيّة) (على سبيل المثال، الجماليات).

٤- اذهب إلى الفناء الخلفي أو أي قطعة أرض خلفية بالقرب من مدرستك أو مكتبك واختر مساحة صغيرة مربعة في حدود (١٠ x ١٠) أمتار. ضع أعمدة في كل زاوية واربط بينها بخيط أو سلك قويين. اجلب علبة مخاليل أسنان وارفق مع كل مخلال أو عود قطعة مربعة من الورق في أحد طرفي المخلال لعمل أعلام صغيرة. الآن تحرك جيئةً وذهابا في شكل منتظم، واضعاً عَلماً واحداً عند كل تلّ أو عشّ للنمل تلاحظه. بالرغم من أنك قد لا تعرف ما هي أجناس أو فصائل النمل التي توجد في المكان، قم بتحديد كل نوع برقم معين واكتبه على الورقة (العلم). يمكنك، أيضاً، أن تحتفظ بسجل يبيّن كيف يبدو كل جنس من هذه الأجناس (بدلاً من أن تحاول تصنيفها). الآن، امض في عمليّة التصوّر لنموذج استقرائي وصفي بنظم المعلومات الجغرافيّة لمواقع النمل. ما هي مجموعات العوامل التي قد تنظر فيها؟ ما العوامل التي يجب عليك أن تدرسها بانفراد داخل كل مجموعة؟

٥- في السؤال الخامس في مواضيع المناقشة لهذا الفصل، طُلب منك أن تدرس بعضاً من السبل الممكنة لجعل عوامل المواقع البديلة حساسة أكثر للبعد المكاني من خلال النظر، على سبيل المثال، في كيف أن الضغوط الحضريّة قد تكون أكبر في اتجاه واحد دون الآخر. وطُلب منك، أيضاً، أن تنظر في تضمين بعض المنهجيات النمذجية المتقدمة التي أدرجتَ فيها المكان والزمان معا. انظر في قاعدة البيانات المكانيّة لنموذج ليسا على موقع الإنترنت الذي أشرنا إليه في السؤال الثاني وحدِّد البيانات الإضافية، إن وجدت، التي قد تكون مطلوبة لتطبيق مثل هذه النماذج داخل برنامجك. سوف يتطلب هذا منك مراجعة الدراسات السابقة للعثور على أمثلة لهذه النماذج وكيف تم تطبيقها في التخطيط. قدم قائمة ببليوغرافية مشروحة لهذه المراجع التي وجدتها.

الفصل السابع

صياغة النموذج، ورسم مخططات سير عمله، وتنفيذه
MODEL FORMULATION, FLOMCHARTING, AND IMPLEMENTATION

أهداف تعليميّة

يُفترض أن يكون الطالب قادراً بعد إكمال هذا الفصل وتعزيز محتوياته بقراءات خارجية، وبالبحث وبالممارسة العمليّة على عمل ما يلي:

١- إنشاء مخطط لكل وحدة من وحدات نموذج نظم معلومات جغرافيّة مصاغاً حسب الأصول باستخدام كل من الطريقة اليدوية أو أي برامج حاسوبية متوفرة لرسم مخططات سير العمل.

٢- استخدام قدرات برامج نظم المعلومات الجغرافيّة لرسم مخططات سير عمل للنماذج تلائم تلك البرامج.

٣- دمج مخططات سير كل وحدة من وحدات النموذج في مخطط مركب للنموذج الكامل في نظام المعلومات الجغرافيّة؛ وبعمل ذلك، يبيّن الطالب كيف يتقدم اتجاه سير العمل في صياغة النموذج مقابل تنفيذ النموذج.

٤- مناقشة لماذا يعد عمل المخططات أمراً بالغ الأهمية لصياغة نماذج نظم المعلومات الجغرافيّة، خصوصاً ما يتعلق بعزل العناصر الأساسية للخريطة الموضوعيّة والروابط فيما بينها.

٥- توضيح بعض الطرائق المختلفة لرسم المخططات لنموذج نظام المعلومات الجغرافيّة ومناقشة مزايا وعيوب كل منها مع الإشارة بصفة خاصة لاحتياجات المستخدمين وتوثيق عمليّة اتخاذ القرار لعمليتي التحقق من النموذج واختبار صلاحيته في وقت لاحق.

٦- توضيح دور مخطط النموذج في الكشف عن عناصر الخريطة الموضوعيّة الناقصة أو الزائدة.

٧- توضيح كيف يمكن تضمين البيانات غير المكانيّة والمعاملات أو أياً منهما في مخطط النموذج.

٨- وصف كيف يمكن استخدام مخطط نموذج نظام المعلومات الجغرافيّة لتوسيع أو تعديل نموذج ما حين اكتشاف بيانات جديدة، أو العثور على معارف جديدة، أو تطوير منهجيات جديدة.

٩- وصف وإيضاح كيف يمكن تضمين مخطط نموذج نظام المعلومات الجغرافيّة في مخططات نماذج أكبر وأكثر تعقيداً، ممّا يدل على هذا النهج التجزيئي للنمذجة بنظم المعلومات الجغرافيّة.

١٠- توضيح استعمال القدرات التخطيطية لبرنامج نظم المعلومات الجغرافيّة الخاص بك في تنفيذ نموذج معين.

١١- توضيح دور معلومات البيانات (Metadata) في تنفيذ نموذج نظام المعلومات الجغرافيّة.

١٢- تقديم حلول للنماذج التي تكون مقيداتها البيئيّة إما ضيقة جداً، وإما فضفاضة جداً.

١٣- استخدام خدمة آلية (مؤتمتة) واحدة على الأقل لإنشاء معلومات عن البيانات.

جعل النموذج التصوّري ذا معنى

تعد عمليّة النمذجة بنظم المعلومات الجغرافيّة - كما رأينا في الفصل السادس - عمليّة معقدة، ومتعددة العناصر، ومتكررة، وذلك في كثير من الأحيان، لا سيما عند العمل مع النماذج الموصّفة. إن النموذج الموصّف هو في الحقيقة أكثر أنواع نماذج نظم المعلومات الجغرافيّة تفاعلاً، إذ يتطلب، في كثير من الأحيان، تكراراً متعدداً لعمل المخططات، وإنشاء الخرائط المؤقتة، والتحليل، والناتج أو المخرج. هذه هي ذروة العمليّة الدوريّة لنظم المعلومات الجغرافيّة؛ إذ أننا ننتقل من نظام فرعي واحد (أي المُدخلات، والتخزين والتحرير، والتحليل، والإنتاج) إلى نظام فرعي آخر عند الرغبة.

كانت عمليّة رسم مخططات النماذج في الماضي عمليّة مجهدة، وتتطلب، في الغالب، استخدام هياكل مخططات بلاستيكية، أو برامج غير مألوفة. وكما سترى في وقت لاحق من هذا الفصل، فالمخطط عبارة عن طريقة رائعة لهيكلة المقصورات التي تخيلناها في عمليّة وضع التصوّر للنموذج، ولتحديد العناصر الضرورية، وتحديد العلاقات الوظيفيّة بين المواضيع. وللأسف، فإن انفصال الخدمة الوظيفيّة لعمليّة التخطيط عن عمليّة التنفيذ الفعلي للنمذجة لا يشجع على استخدامه. وحتى مع أبسط النماذج الموصّفة في نظم المعلومات الجغرافيّة، فهي كثيراً ما تتطلب تكراراً متعدداً، وتتطلب بعض النماذج الوصفيّة، أيضاً، إنشاء طبقات خلوية موضوعيّة مؤقتة يجب تقييمها، قبل المضيء قدما للخطوة اللاحقة. وفي مثل هذه الظروف، سيكون معظم المنمذجين أكثر ميلاً للاستمرار في دورة العمل، وفحص الطبقات المؤقتة، واتخاذ القرارات، والانتقال إلى الخطوة التالية، بدلاً من التوقف وإنتاج مخطط جديد، أو تعديل مخطط قائم يدوياً أو عن طريق استخدام برامج مستقلة. وعادةً ما ينجم عن مثل هذه المنهجيّة المنفصلة والخاصة، الانتهاء من النمذجة بسرعة، مع قليل من الصياغة القياسية أو بدونها، وفي غياب التوثيق اللازم لعمليّة التحقق من النموذج فيما بعد.

ولحسن الحظ، فإن بعض برامج نظم المعلومات الجغرافيّة الحديثة في الوقت الحاضر تتضمن قدرات تخطيطية تتميز بأنها تتكامل بشكل صريح مع عمليّة النمذجة. يتيح هذا للمنمذجين استخدام المخطط بشكل تفاعلي، وبهذا يساعدهم على تنظيم أفكارهم، وإنتاج خرائط موضوعيّة مؤقتة (بينيّة)، ومخططات مؤقتة، وكل منها ذو قيمة نفيسة جداً لكل من عمليات النمذجة، والتحليل، والتحقق من قبول النموذج. سوف استخدم في هذا الكتاب

نظامين، المنمذج المكاني في إرداس (ERDAS Imagine Spatial Modeler) وبانئ النماذج في حزمة برامج إسري (ESRI's Model Builder)، لتوضيح كيف يتم العمل وكيف يمكن استخدام ذلك لكل من تحسين وتوثيق عمليّة النمذجة بنظم المعلومات الجغرافيّة.

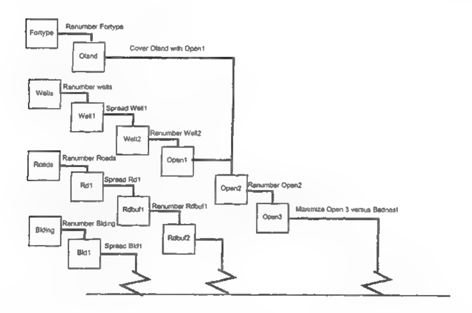
في الوقت الذي تعد عمليّة وضع التصوّر لنموذج نظام المعلومات الجغرافيّة عملا معمماً (عامّاً) إلى حد ما، ومهماً في نفس الوقت - إلا أن المهام المترابطة لتخطيط النموذج، وصياغته، وتنفيذه يتطلب منهجيّة صارمة وأكثر تحديدا. لقد أنشأنا أثناء عمليّة وضع التصوّر للنموذج مقصورات عامة. يجب علينا الآن أن نولّد نماذج فرعيّة فعليّة لكل مقصورة من هذه المقصورات، وعادةً ما نجزّئها، أيضاً، إلى نماذج أصغر. علينا الآن الانتقال في كل نموذج من الخرائط الموضوعيّة التقليديّة العامة إلى بيانات رقميّة محدّدة متى ما كان ذلك ممكنا، ومن البيانات الرقميّة غير المكانيّة إلى إما بدائل رقميّة، وإما معامِلات رياضيّة ومنطقيّة في حالة غياب البيانات المكانيّة. قد يكون الانتقال من خطوة إلى أخرى في النمذجة أهم جزء في العمليّة لأنه يتطلب من المنمذج أن يربط جميع العناصر (البيانات الخرائطيّة، والمعامِلات، والأوزان) للنموذج، فيربط المواضيع بالنماذج الفرعيّة، والفروع بالروابط التشغيلية الفعليّة. ويتطلب ذلك، أيضاً، توقع الإجراءات التكراريّة وتنفيذها لاستكمال النموذج وظيفياً في نظام المعلومات الجغرافيّة. سوف نبدأ أولا بالنظر إلى المقصورات وتفكيكها إلى طبقاتها الخلويّة الموضوعيّة.

فحص برامج عمل المخططات

يتوفر العديد من حزم برامج نظم المعلومات الجغرافيّة الخلويّة، ولأنها تختلف فكل برنامج له طريقته الخاصة التي تسمح للمستخدم أن ينشئ النماذج - إلا أن كثيراً منها تفتقر لوجود واجهة مصممة خصيصاً لعمل النمذجة مباشرةً من المخطط. وبالرغم من أن معظم هذه البرامج تستخدم منهجيّة برمجية، رغم كفائتها الوظيفيّة - إلا أنها تعيق، أحياناً، المستخدم للوصول مباشرة إلى قوة نظام المعلومات الجغرافيّة. ولأن عمليّة التخطيط تعد جزءاً مهما في صياغة نماذج نظم المعلومات الجغرافيّة، وتركيبها، وتنفيذها، وتوثيقها بشكل منظم، فإني سوف أركز على اثنين من أكثر حزم نظم المعلومات الجغرافيّة حرفيةً وشيوعاً والتي تشتمل على منهجيّة صريحة لرسم المخططات - المنمذج المكاني في إرداس (ERDAS Image Spatial Modeler)، (ERDAS, 1999)، وبانئ النماذج من إسري (معهد بحوث النظم البيئيّة) (ESRI Model Builder)، (Environmental Systems Research Institute 2000). ولقد قُصد من هذا أن يكون تدليلاً على المفهوم أكثر منه تأييداً صريحاً لأيٍّ من هذين المنتجين.

دعونا، قبل أن نفحص هذين المنتجين، نلقي نظرة على مخطط نموذجي لنموذج نظام ملعومات جغرافيّة تم إنتاجه يدوياً لتكوين فكرة عما يتكون منه هذا المخطط. في نموذج لموطن الديك الرومي البري، انتجته زِف (Zeff, 1991) كجزء من أطروحتها للماجستير (الشكل رقم ٧,١)، يظهر كل عنصر خرائطي في شكل مربع، متصلاً

بخطوط، غالباً ما يكون له عمليّة أو إجراء يشير إليهما النص المكتوب فوق الخط أو تحته، يشرح كيفية ربط العناصر ببعضها. لعل هذا يعد أبسط شكل من أشكال مخطط النموذج، مع العلم أنه بالتأكيد ليس النوع الوحيد (انظر على سبيل المثال، DeMers, 2000a). إن بساطة هذا المخطط مفيدة، لأنها تقلّص النموذج إلى مكوناته وعملياته الأكثر أساسية. إن كلا الحزمتين الحرفيتين التي سنفحصها لاحقاً، هما إلى حد ما أكثر تعقيداً من هذا، لكن ليس بدرجة كبيرة. ويرجع تعقيدهما، بدرجة كبيرة، إلى الكيفيّة التي ينفذ بها البرنامج فعليا المكونات، وطبيعة أنواع المكونات التي ينبغي إدراجها في النموذج، وليس بالضرورة إلى الكيفيّة التي قد يختلف فيها نموذج موطن الديك الرومي نفسه وظيفياً عن نسخته الأصلية.

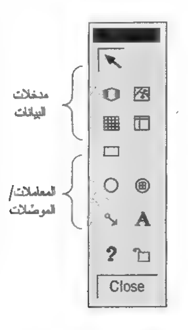


الشكل رقم (٧,١). جزء من نموذج موطن الديك البري. بالرغم من أن هذا منهج سهل في عمليّة تخطيط النماذج – إلا أنه يمتاز بفاعليته[١]

دعونا نلقي نظرة على مجموعة من الأيقونات المستخدمة في كل من هذين البرنامجين لنرى كل من أوجه التشابهات والاختلافات النسبية مقارنةً بذلك الذي انتجته زف. نبدأ أولا بفحص قائمة الأيقونات في برنامج المنمذج المكاني (Spatial Modeler) (الشكل رقم ٧,٢). ويتجاهل أيقونة أداة الاختيار القياسية (العامة) في الأعلى والأيقونات التشغيلية الثلاث في الأسفل، فإنه يتبقى لنا الأيقونات التي سوف تستخدم في نهاية المطاف في صياغة

(١) الطبقات الأربع على اليسار هي الأصلية، حيث أُشتقت منها الطبقات الأخرى على اليمين، وخصصت لعمليات دمج ومطابقة فيما بينها لأن بعض الطبقات غير واضحة المعنى (إختصارات) فقد أبقى المترجم نفس الأسماء دون ترجمة. (المترجم)

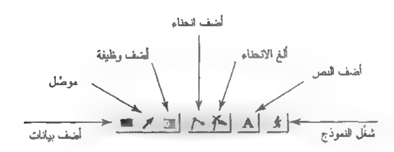
النموذج. ومن الصف الثاني، والقراءة من اليسار إلى اليمين، يكون لدينا ما يلي: (١) المُدخلات الخلويّة، و(٢) المُدخلات الخطّيّة، و(٣) مصفوفة المُدخلات، و(٤) المُدخلات المجدولة، و(٥) والمُدخلات العددية النسبية (Scalar). كل من هذه المُدخلات تمثّل شكلاً مختلفاً من العناصر التي يجب إدراجها في النموذج وكل منها يتوافق مع المربعات الأبسط كما جاءت في مخطط زِف (١٩٩١م). كما تشمل الأيقونات الأربع المتبقية إدراج كل من: (١) الوظيفة، و(٢) وظيفة المعايير، و(٣) موصّل، و(٤) نص تعليقي. تتصل كل واحدة من هذه، بدرجة أو بأخرى، بالخطوط والنصوص المبسطة التي استخدمتها زِف في مخططاتها اليدوية.



الشكل رقم (٧,٢). جزء من أيقونات إرداس (ERDAS) المستخدمة في برنامجه الخاص بالنمذجة. لاحظ كيف أن أيقونات إدخال البيانات مستقلة عن المعاملات والموصّلات.

إن برامج عمل المخططات والصياغة داخل بانئ النموذج (Model Builder) من معهد بحوث النظم البيئة (ESRI) هي أبسط في مظهرها من تلك في المنمذج المكاني (Spatial Modeler)، لكنها ليست أقل تمثيلاً للإطار العام للنمذجة المقدم من توملن. توجد أيقونات الفتح الخاصة ببانئ النموذج في شريط أفقي، ويشمل: وظائف لإضافة البيانات؛ ووظائف المعالجة؛ والنص؛ وموصّلات؛ وأخرى لإضافة وحذف المنحنيات (الشكل رقم ٧,٣). تسمح المنحنيات بعمل مخططات أكثر جمالاً. إنه من خلال تشغيل بسيط لبرنامج التخطيط باستخدام نموذج ليسا لمقاطعة دوغلاس، كانساس، يتضح لنا كيف أننا انتقلنا من البيانات المُدخلة (خطوط الغاز، في هذه الحالة) من خلال عمليّة (التحزيم، في هذه الحالة)، ممّا نتج منه خريطة تحزيم (الشكل رقم ٧,٤). لاحظ كيف مُثّلت المُدخلات من

البيانات في المخطط في شكل مستطيل، والوظيفة في شكل بيضاوي، والمخرج في شكل مستطيل ذو حواف محدبة. بالرغم من الاختلاف الطفيف عن منتج إرداس (ERDAS) - إلا أن واجهة بانئ النموذج التفاعليّة ونظيرتها في المنمذج المكاني كلاهما تتشابهان بطريقة تلفت النظر مع المنهجيات القياسية التي ابتكرها أولا توملن لصياغة وتخطيط النمودج. لقد صُممّ البرنامجان بحيث يتيحان للمستخدم أن يخطط ويوثّق على حد سواء نموذج نظام المعلومات الجغرافيّة. تبدأ هذه العمليّة بعزل النماذج الفرعيّة (المقصورات) كل على حدة، وتحديد عناصر البيانات المطلوب إدخالها وحل حساباتها الداخلية.



الشكل رقم (٧,٣). أيقونات التخطيط للنمدجة الخلويّة في نظام المعلومات الجغرافيّة من ESRI. هذه الأيقونات بسيطة نسبياً لكنها توفّر كل الأدوات الضرورية لإنشاء نموذج يشتغل فعليا بناءً على المخطط نفسه.



الشكل رقم (٧,٤) مخطط بسيط جدا باستخدام واجهة برنامج باني النماذج من ESRI. يبيّن هذا النموذج كيف يمكن رسم حزام حول خطوط الوقود لإنتاج خريطة لهذا النطاق يسمح لنا هذا بنمدجة المسافة فيما بين خدمات المدينة الأخرى الممثلة ببيانات خطّية

مدّ مقصورات النموذج بالطبقات الشبكية

لقد استخدمنا في وصف عمليّة تصور النموذج فكرة التشابه مع الشجرة التي اقترحها أولا توملن في عام ١٩٩٠م، وسوف نواصل، هنا، ذلك القياس. انظر مرة أخرى إلى الشكل رقم (٦,٩) وتمعّن في الأجزاء المكونة له. يمثّل الجذع من الشجرة منتجاً معلوماتياً مكانياً واحداً - نادر الحدوث على أي حال، لكنه ممكن بالتأكيد. في الحالة الأكثر شيوعاً والتي قد يحدث فيها أن يكون هناك أكثر من مخرج واحد للنموذج، فإنه يمكن تجاهل الجذع وتفضيل

الجذور. وبمتابعة الجذع نحو أعلى الشجرة باتجاه الفروع الرئيسة، كل فرع من فروع الأغصان هذه يمثّل شيئين – النماذج الفرعيّة (المقصورات) والروابط الوظيفيّة فيما بينها. أخيراً، تنتهي فروع الشجرة إلى الأوراق، كل منها يمثّل طبقة شبكية (خلوية) واحدة موضوعيّة والتي تمثّل البيانات المكانيّة صراحةً من نموذجنا التصوّري.

دعونا نفحص نموذج ليسا لمقاطعة دوغلاس للنظر كيف ننتقل من المقصورات العامة إلى التفاصيل الأكثر تحديداً من مكونات النموذج وموضوعاته الشبكية. ولتبسيط مناقشتنا، سنبدأ بإظهار قائمة بالمكونات الأصلية التي حدّدها فريق عمل النموذج (الجدول رقم ٧,١). سوف نزيد في تبسيط الأمور من خلال الاستمرار في صياغة نموذجنا، وتخطيطه، وتنفيذه في بعض المكونات التي تتماثل مع نفس معايير النموذج المبسطة التي حدّدها وليامز (١٩٨٥م) في مقاله.

تستطيع أن ترى في الجدول رقم (٧,١) أن لدينا الآن سبع مقصورات. تهدف كل واحدة منها إلى أن تمثّل جزءاً من كامل النظام الخاص بتقييم الموقع في نموذج ليسا. لقد حدّدنا مسبقاً ضمن هذه المقصورات بعض أنواع البيانات المكانيّة ومصادرها العامة المحتملة. يحصر الجدول قائمة، ضمن المقصورات أو النماذج الفرعيّة، الخرائط المصدريّة التي اُشتقت منها عناصر الخرائط الموضوعيّة النهائيّة المستخدمة (الأوراق في شجرة النمذجة) في التطبيق الأصلي لنظام المعلومات الجغرافيّة. بالإضافة إلى ذلك، يبيّن الجدول الوزن النسبي لكل عامل إضافي من عوامل تقييم الموقع. ورغم أن هذه تبدو واضحة – إلا أن الوصول إليها يتطلب من المنمذج أن يفهم تلك الروابط الوظيفيّة الموجودة بين كل مصدر من مصادر الخرائط وعوامل تقييم الموقع، وما الهدف من تمثيلها. هناك شيء واحد في الحقيقة يجب ذكره حول عوامل تقييم الموقع في نموذج ليسا، وهو أنه في الوقت الذي يكون للعامل أوزانه الخاصة به، إلا أن له، أيضاً، درجة من التوافق، وهو مقدار توافق أو امتثال كل مجموعة من العوامل مع الشروط البيئيّة المحدّدة التي من المفترض أن تمثّلها كل مجموعة. فعلى سبيل المثال، نجد في نموذج مقاطعة دوغلاس، أن كل شرط من الشروط أو درجات التوافق التالية تكون مصحوبة بدرجة أو علامة (Score) مسندة. يبيّن الجدول رقم (٧,٢) عاملين من عوامل تقييم الموقع، ودرجة امتثالهما للشروط البيئيّة، وبعض التقديرات التي تبيّن كيف سُجلت الدرجات لهما. ينتج عن هذا التقييم درجات نهائيّة لخلايا الشبكة وذلك لكل نموذج فرعي (نموذج واحد لكل عامل). نستطيع – بعدئذ – أن نوحّد أو نجمع بين هذه المواضيع ليس على أساس درجات امتثالها الداخلي فقط بل على أوزانها، أيضاً، وذلك من خلال عمليّة بسيطة من عمليات المطابقة الموزونة.

من الواضح أن هذا مثال بسيط. هناك نماذج أخرى عادةً ما تكون أكثر تعقيداً، في كثير من الأحيان، وتنطوي على زيادة كبيرة في العمليات الحسابيّة. لكن، يظل التصوّر، على أي حال، كما هو دون تغيير. فلكل نموذج فرعي مخططه الخاص به، وصياغة نمذجية خاصة به، أيضاً. إن الصياغة لا تساعدنا فقط في تحديد العناصر الخرائطيّة اللازمة ولكنها تساعدنا، أيضاً، في تحديد كيفيّة ربط النتيجة النهائيّة بالنماذج الفرعيّة أو مكوناتها. إن الروابط في مثالنا البسيط لتقييم الموقع هي أوزان أو إضافات بسيطة لشبكة موضوعيّة مُخرجة واحدة مع أخرى.

الجدول رقم (٧,١). الأوزان النسبية لكل عامل في نموذج ليسا.

عامل تقييم الموقع	الخريطة المصدر	الوزن النسبي
استخدام الأرض/الزراعة		
١- نسبة المنطقة الواقعة في الزراعة ضمن (١,٥) ميلا	استخدام الأرض	١٠
٢- الأرض الزراعية المجاورة للموقع	استخدام الأرض	٧
قابلية نجاح الزراعة اقتصاديا		
٣- حجم (مساحة) المزرعة	حجم قطعة الأرض	٢
٤- معدل حجم (مساحة) قطعة الأرض ضمن (١) ميل	حجم قطعة الأرض	٤
٥- الاستثمار الزراعي في المنطقة	–	٣
الشروط التنظيمية لاستخدام الأرض		
٦- نسبة المنطقة المخصصة للزراعة ضمن (١,٥) ميلا	التقسيم (Zoning)	٨
٧- تقسيم الموقع والمجاور له	التقسيم	٦
المواقع البديلة		
٨- توفر الأرض المخصصة لاستخدام مقترح	التقسيم	٦
٩- توفر أرض غير زراعية	التقسيم/الترب	٦
١٠- الحاجة إلى أرض حضرية إضافية متوافقة	استخدام الأرض/حدود المدينة	٨
توافق الاستخدام المقترح		
١١- توافق استخدام الأرض مع ما يحيط بها	استخدام الأرض	٧
١٢- المزايا أو الظواهر الفريدة	المناطق الفريدة	٣
١٣- التجاور مع المزايا أو الظواهر الفريدة	المناطق الفريدة	٢
١٤- عرضة الموقع للفيضان أو أنه في مجرى التصريف	هيدرولوجية السطح	٨
١٥- ملاءمة الترب لرمي النفايات في الموقع	الترب	٥
التوافق مع المخططات المعتمدة الرئيسة		
١٦- التوافق مع المخطط الشامل المعتمد	المخطط الرئيس	٥
١٧- ضمن منطقة نمو مخصصة	منطقة النمو	٥
البنية التحتيّة الحضريّة		
١٨- المسافة من حدود المدينة	حدود المدينة	٦
١٩- المسافة من شبكة المواصلات	شبكة المواصلات	٤
٢٠- المسافة من شبكة المياه المركزية	خطوط المياه	٤
٢١- المسافة من خطوط الصرف الصحي	خطوط الصرف الصحي	٤
المجموع	١١٤	
وحدة القياس: ٢٠٠ / (١١٤ x ١٠) = ٠,١٧٥	٠,١٧٥	

الجدول رقم (٧,٢). مثال على قيم التوافق الداخلي لعاملين من عوامل نموذج ليسا.

العامل	التوافق	القيمة
نسبة الأرض الزراعية ضمن (١٥) ميلا	٦٣ ٪ - ١٠٠ ٪	١٠
	٣٥ ٪ - ٦٢ ٪	-
	٠ ٪ - ٣٤ ٪	٠
الأرض الزراعية المجاورة	كل جوانب الموقع في الزراعة	١٠
	جانب واحد مجاور لأرض غير زراعية	-
	جانبان مجاوران لأرض غير زراعية	-
	ثلاثة جوانب مجاورة لأرض غير زراعية	-
	أربعة جوانب محاطة بأرض غير زراعية	٠
...	..	...

يرتبط بكل مستوى توافق قيمة يمكن إسنادها لكل خلية في الشبكة.

لكن قبل أن نترك هذا المثال، نحن بحاجة إلى أن ننظر إليها عن قرب أكثر؛ لأن هذه الأوزان التي تبدو بسيطة ليست متاحة مباشرة من مواضيعها الشبكية الأولية. فإذا أخذنا، على سبيل المثال، العامل الأول لنسبة المنطقة أو المساحة ضمن (١,٥) ميلا، نرى من الجدول رقم (٧,١) إنه يجب أن نقسم هذا العامل إلى ثلاثة مكونات فرعيّة: (١) مناطق (٩٥ ٪) من مساحتها ضمن (١,٥) ميلا داخل الزراعة؛ و(٢) مناطق (٥٠ ٪) من مساحتها ضمن (١,٥) ميلا داخل الزراعة؛ و(٣) مناطق (١٠ ٪) من مساحتها ضمن (١,٥) ميلا داخل الزراعة. هناك بعض التعاريف التي يجب أن تُحدّد بوضوح وبعض التحليلات التي يجب اتمامها للحصول على هذه القيم. أولاً، يجب أن نحدّد ما الدرجة (Score) التي ستُعطى لتوافقات (٥٠ ٪) من الزراعة ضمن (١,٥) ميلا. علينا أن نرجع لفريق العمل لإسناد قيمة هنا. يمكن عمل اشتقاق بسيط يَسهُل تنفيذه لإسناد درجة (٥) أو (٦)، تبعا لرغبات فريق العمل. علينا - بعدئذ - أن نشرح ما نقوم به مع النسب المؤية المفقودة (أي ٥١ ٪ إلى ٩٤ ٪، و٩٦ ٪ وأكبر، وهلمّ جرّا). مرة أخرى، يتطلب هذا منّا أن نتواصل مع فريق العمل لاشتقاق هذه القيم. قد نتوقع بسهولة حلا معقولا ليكون على النحو التالي: (١) [٩٥ ٪ إلى ١٠٠ ٪] من المساحة الواقعة في الزراعة في حدود (١,٥) ميلا سوف تُعطى درجة أو وزنا مقداره (١٠)، و(٢) [٥٠ ٪ إلى ٩٤ ٪] ستعطى وزنا بقيمة مختلفة، و(٣) [١١ ٪ إلى ٤٩ ٪] ستُعطى قيمة أقل، و(٤) [١٠ ٪ أو أقل] تُعطى قيمة صفر (٠).

يجب أن تلاحظ ممّا فعلناه للتو أن لدينا في الواقع أربع فئات للتوافق لهذا العامل بدلاً من خمس. هذا يعني أننا بحاجة إلى العودة إلى النموذج الأصلي وإعادة تشكيله ليتطابق مع تصنيفنا الجديد للفئات. يُفترض أن نتيجة هذا العرض توضّح بدايةً مقدار التعقيد الموجود في إجراءات ونماذج بدت للوهلة الأولى أنها بسيطة.

على افتراض أننا استقرينا على أربعة مستويات للتوافق لعاملنا، وأن فريق العمل ليس لديه اعتراض على القيم المسندة – إلا إنه ما يزال أمامنا سؤال آخر: كيف يمكن أن نشتق هذه الأرقام؟ أولاً وقبل كل شيء، ليس لدينا أي موقع حتى الآن. تشير هذه المشكلة إلى أن هناك احتمالية أن يتجه هذا النموذج ليكون نموذجاً موصِّفاً أكثر ممّا كان متوقعاً. إحدى الطرائق لتجنب ذلك، هو فحص نسبة الزراعة في نطاق (١,٥) ميلا، وذلك لكل خلية في الشبكة. هذه بالأحرى منهجيّة فظة إلى حد ما، لكنها مفيدة. ولأسباب تعليمية (تدريسية)، فإننا سوف نفترض أن لدينا موقع مقترح وسوف نحدّد النسبة المؤية من المنطقة ضمن (١,٥) ميلا من ذلك الموقع. يتطلب هذا أن نقوم بتنفيذ وظيفتين. أولاً، علينا أن ننشئ حزاما (Buffer) يبلغ نصف قطره (١,٥) ميلا حول الموقع الذي اقترحناه. بعد ذلك، وضمن هذا الحزام أو النطاق، يجب علينا أن نجمع نسبة خلايا الشبكة التي تقع في الزراعة. وأخيراً، يجب أن نعيد تصنيف خلايا هذه الشبكة وفقا لقيم التوافق التي حدّدناها مسبقاً. لدينا من هذه العمليّة، إذن، ثلاث مراحل لإنشاء نموذج فرعي بسيط لهذا العامل وحده. قد يأخذ المخطط لهذا النموذج الفرعي شكلاً كما في الشكل رقم (٧,٤). نواصل هذه العمليّة لكل عامل من العوامل، تماما كما لو كنّا سنفعل مع الأجزاء المكوِّنة لأي نموذج. كل نموذج فرعي عبارة عن نموذج مستقل، له مقصوراته الخاصة به. أما خطوتنا التالية فهي العمل على توفير الروابط بين المقصورات، تماماً مثلما عملنا الروابط بين المراحل الفردية للنموذج الفرعي.

ربط المقصورات

بالرغم من أننا قد رأينا كيف يمكن ربط العناصر البسيطة مع بعضها في مقصوراتنا (النماذج الفرعيّة) – إلا أن ذلك لا يشرح كيف يمكن ربط النماذج الفرعيّة نفسها ببعضها. يرجع هذا جزئياً إلى أن النماذج الفرعيّة هي نفسها بيانات مشتقة، وعليه فإن النماذج تكون أكثر تعقيداً من مكوناتها العناصرية المتمثّلة في الموضوعات الشبكية. يظل هذا في كثير من نماذج نظم المعلومات الجغرافيّة من بين المهام الأكثر صعوبة؛ لأنها تتطلب مستوى من المعرفة التي لا تتوفر دائماً. يوضح نموذج ليسا الذي قمنا بفحصه باستفاضة عدة مرات هيكلاً تركيبياً صريحاً وبروابط صريحة، أيضاً، بين المقصورات. هذه الروابط هي مجرد إضافات أو عمليات مطابقة موزونة والتي تعد أدواتٍ لعمليّة تخطيط هي في حد ذاتها بسيطة جداً. لكن معظم نماذج العالم الحقيقي ليس لديها روابط رياضيّة أو منطقيّة صريحة بين المكونات، وليست في الغالب مفهومة فهما جيداً بما فيه الكفاية بحيث يمكن تحديد هذه الروابط بسهولة. وفي معظم الحالات، يجب علينا أن نعمل ونكتفي بأفضل المعارف المتاحة والإرشادات البسيطة لنقرر كيف يمكن أن نربط مكوِّن واحد بآخر بأفضل ما يمكن.

لقد استخدم علماء التربة منذ فترة طويلة نموذج جيني (١٩٤١م) العام لتكوين أو تشكُّل التربة الذي يقضي بأن التربة هي وظيفة أو نتاج لخمس عمليات. وبهذه الطريقة، يمكن أن نعرِّف التربة على أنها معادلة رياضيّة، كالتالي:

التربة = وظيفة (المناخ، والمادة العضوية، والسطح التضاريسي، والمادة المولِّدة، وزمن التطور أو التشكّل)

يمكن اعتبار هذه المعادلة على أنها نموذج نظام معلومات جغرافيّة يكون فيه المُخرج عبارة عن نوع التربة، في حين أن المكونات الخمسة هي عمليات تشكّل التربة. ومّما يؤسف له أن هذه العمليات هي نفسها غير مُحدّدة أو مُعرَّفة تعريفاً جيداً، واسهاماتها النسبية لمجمل حالة التربة غير معروفة، وتفاعلاتها معقدة وغير مفهومة. لكن معظم نماذج نظم المعلومات الجغرافيّة ليست دائماً موضحة أو مفصلة بشكل رديء كما في هذا المثال، ولا هي سهلة التحديد كما في نموذج ليسا على سبيل المثال، إنما معظمها عبارة عن مزيج من الروابط المحدّدة تحديداً جيداً، وأخرى أقل تحديداً. وكما هو الحال دائماً مع النمذجة، فالفكرة ليست إعادة إنشاء الواقع، بل أن نستخدم افتراضات تبسيطية لتعميم أكثر نظم الواقع تعقيداً. ومتى ما عُرف المزيد عن كيف تعمل النظم في الميدان، وكيف تعمل روابطها، ومكوناتها الفردية، يمكن - عندئذ - العودة إلى النموذج وتهذيبه ليعكس سيناريواً أكثر واقعية.

هناك العديد من الطرائق لربط المقصورات أو النماذج الفرعيّة، تماماً مثلما هناك العديد من الطرائق لربط المكونات الفردية لنموذج فرعي واحد. ومع ذلك، فلأننا نربط فعليا البيانات الخرائطيّة من شكبة إلى أخرى - لأننا نعمل مقارانات مباشرة ثنائية (زوجية) (Pairwise) لكل مجموعتين شبكيتين في كل موضوع - فإن هذا يأخذ شكلاً من الأشكال العديدة لعمليات المطابقة الخرائطيّة. وفي بعض الحالات، قد يستلزم إجراء المقارنات بين المواضيع أن نعمل المقارنة فقط بين جوارات (Neighborhoods) من الخلايا الشبكية، كما رأينا في دراستنا للوظائف النطاقيّة. وعليه، فإن النطاق المطبَّق على شبكة أخرى سوف يكون في الغالب جواراً من الخلايا الشبكية من موضوع آخر.

إن من بين أفضل المنهجيات لأداء مثل هذه المطابقات، بغض النظر عن أنواع المطابقة المستخدمة، هو استخدام شكل من أشكال المعامِلات المحليّة (Local Operators). وكما تذكر، فالمعامِلات المحليّة تعمل على مقارنة خلية بخلية. تنفع هذه المنهجيّة مع النماذج التي يسهل إدراكها، وفهمها، والتحقق منها فيما بعد. فالمعامِلات المحليّة على وجه الخصوص، تجعل من السهل تتبع أي درجة من درجات الخطأ أثناء تفاعل بيانات الخريطة مع بعضها. وهي، أيضاً، أسهل شرحاً للعملاء، ومضيفة، في كثير من الأحيان، درجة أعلى لقبول النموذج، لا سيما العملاء الأقل خبرة في نمذجة نظم المعلومات الجغرافيّة. ورغم أن العديد من القيود في منهجيات النمذجة يمكن معالجتها بفعالية عن طريق الربط بين النماذج الفرعيّة بهذه الطريقة - إلا أنها لا تزال تتطلب، في كثير من الأحيان، معامِلات أكثر تعقيداً، مثل المعامِلات التركزيّة، أو النطاقيّة، أو الكتليّة، وذلك داخل النماذج الفرعيّة نفسها. وبتنفيذ هذه المعامِلات الأكثر تعقيداً داخل النماذج الفرعيّة، ثم ربط النماذج الفرعيّة بالمعامِلات المحليّة؛ نستطيع أن ندمج أكثر جوانب النماذج تعقيداً في مخطط عام. يتيح ذلك للمنمذج شرح النموذج العام للعميل (المستفيد) بلغة أو مفاهيم بسيطة دون التأكيد على العمليات الداخلية الأكثر تعقيداً بين النماذج الفرعيّة.

إن أكثر المعامِلات صعوبة في توثيقها وأكثرها معالجة من الناحية الحاسوبية هي المعامِلات الشموليّة (Global Operators). وعلى أي حال، فمن بين أكثر هذه العمليات فائدة للجمع بين السطح وبيانات التدفق، عمليات المسافة الوظيفيّة؛ حيث يتم استخدام موضوع واحد بوصفه طبقة أو سطح إحتكاك والذي على أساسه يجب أن تتم الحركة. غير أنه من الأفضل - وكما هو الحال من قبل- لو أن هذه العمليات الشموليّة ترِد داخل النماذج الفرعيّة لتسمح بسهولة توثيق النموذج وقبوله لدى العملاء أو المستفيدين.

وبالرغم من أن هذه المبادئ التوجيهية البسيطة تعطى بعض الأفكار العامة عن كيفيّة ربط نماذجك الفرعيّة - إلا أن اختيار كيفيّة الربط في نهاية المطاف تتحكم بها العلاقات الوظيفيّة بين الخرائط المشتقة من النماذج الفرعيّة نفسها. وكقاعدة عمليّة عامة، إن تبسيط التفاعل بين النماذج الفرعيّة يسهم، كما رأينا، في تسهيل التوثيق والشرح. حتى إذا كان عميلك مستخدماً ماهراً لنظام المعلومات الجغرافيّة، أو كنت أنت الوحيد من سوف يستعرض ويستخدم النموذج، ينبغي أن تكون النماذج الفرعيّة حسنة التطوير بما فيه الكفاية بحيث يمكن ربط المُخرج من كل نموذج بسهولة بالمُخرجات الأخرى، خاصةً إذا كان بالإمكان ربطه من خلال المعامِلات المحليّة. هذا يعني من منظور صياغة النموذج، أن النماذج الفرعيّة ينبغي أن تكون صغيرة بما فيه الكفاية حتى يمكن فهمها، وأن تحتوي على أقل عدداً ممكناً من العمليات المعقدة. وإذا حدث - بعد ذلك- أن احتاج النموذج إلى تعديل لتلبية ما يستجد من تغيرات في القيود، أو تطورات في المعرفة، أو تكرار ضروري للنمذجة الموصَّفة، فإن النموذج لن يتطلب إعادة معظم عمليات صياغته أو تخطيطه.

تحديد المواضيع المفقودة والزائدة والغامضة في مخططات العمل

إن إنشاء المقصورات أو النماذج الفرعيّة التي لها عدد محدود من العمليات الحسابيّة سوف يبسط، أيضاً، عمليّة تحديد البيانات الموضوعيّة المفقودة (الناقصة) أو الزائدة -كما هو الحال مع ربط المقصورات أثناء صياغة وتخطيط نماذج نظم المعلومات الجغرافيّة. وليس هناك قاعدة عمليّة واحدة لأداء مثل هذه التحديدات، وهذا بسبب أن كل نموذج هو فريدٌ من نوعه. وعلى أي حال، يوفر المخطط ذاته، في معظم الأحيان، خدمات استعراضية كبيرة (Visualization)، ممّا يتيح للمنمذج أن يرى أين تكون الأوراق مفقودة من شجرة مخططنا، أو أين النماذج الفرعيّة التي قد تكون كلها غير متوفرة. هذا مفيد، خاصةً عندما تشترك فرق العمل في تحديد عناصر النمذجة ذات الصلة. وحتى بالنسبة للأفراد، فإن الأمر، أيضاً، وفي كثير من الأحيان، ما هو إلا مجرد فحص لمخططنا لنرى أين الفروع التي لدينا ولا نستطيع أن نحدّد بدقة كيف يمكن ربط فرع أو توصيله بالآخر. يدل هذا، في بعض الحالات، على نقص في فهم الطريقة التي يعمل بها النظام قيد النمذجة، ولكنه، في حالات أخرى، يدل ببساطة على أننا نعرف بشكل عام ما يجب نمذجته لكننا لا نملك عناصر البيانات الموضوعيّة اللازمة لتحقيق ذلك.

يمكن أن يُستخدم المخطط، أيضاً، لتحديد المواضيع الزائدة بوصفه أداةً لاستعراض هذه المشكلة. تظهر الزيادة في أغلب الأحيان عندما تتشابه المواضيع الشبكية بين أجزاء النموذج. ورغم أن هناك العديد من الحالات التي تُستخدم فيها الشبكات الأساسية عدة مرات في داخل النموذج الواحد، مثل استخدام نموذج ارتفاع رقمي (DEM) لاستخراج مدَيات (نطاقات) الانحدار، ومدَيات واجهة الانحدار، ومجالات الرؤية، فإن التكرار أو الزيادة سوف تظهر هنا، في معظم الأحيان. وفي نموذج ليسا الذي استعرضناه في أكثر من فصل في هذا الكتاب، هناك فرصة لحدوث مثل هذا التكرار؛ لأن الجزء الخاص بتقييم الأرض من النموذج يستند على سلسلة التربة، بوصفها عنصراً أساسيا في النموذج، كما هو الحال مع عوامل تقييم الموقع (DeMers, 1985; Luckey and DeMers, 1986-197).

ورغم أن استخدام المخطط سوف يكون كافياً، في كثير من الحالات، لتحديد ما يتصل بالعوامل من مشكلات - إلا أن المنمذج لا يقتصر على هذا المنهجيّة. ولقد تم تطبيق الكثير من الأساليب والمنهجيات، فكل شيء من الفحوص الرياضيّة والمنطقيّة إلى الرسوم التخطيطة إلى تدفق البيانات ومن استعراض الدراسات السابقة إلى المقابلات الشخصية، كلها تم الاستعانة بها. ولعل إحدى التقنيات التي قد تكون، أيضاً، مفيدة، استخدام مصفوفة من العوامل وما ينتج عنها من تبعات على النموذج (DeMers, 1985). ويُطبق هذا الأسلوب، كثيراً، في إعداد التقارير التي تتعلق بالآثار البيئيّة.

إن تعديلا لهذه الطريقة الأخيرة قد أثبت فاعليتها، أيضاً، في التعرف على العوامل والمواضيع البيئيّة الغامضة أو المُربكة. ومن الأمثلة على ذلك، مثال واحد من نموذج ليسا، وهو استخدام مصفوفة تداخل العوامل (DeMers, 1985)، حيث تبيّن كيف أن عامل تقييم الموقع "حجم الموقع أو المزرعة" الذي بدى واضحاً في البداية قد أدى إلى إرباك عندما سُئل فريق العمل عن التأثير المحتمل لزيادة وزن هذا العامل على الأهمية النسبية للعوامل الأخرى للنموذج. ونتيجة لما نشأ من مناقشة لهذه المسألة المربكة، فقد حدّد فريق العمل أن العامل نفسه كان في الأساس عبارة عن مفهومين منفصلين على الرغم من ارتباطهما (DeMers, 1985). فحجم المزرعة وحجم الموقع المطلوبان في النموذج دفعا بالنموذج في اتجاهين مختلفين، وعليه، كان لابد من فصلهما، كل عامل على حدة.

إضافة بدائل البيانات والمعاملات غير المكانيّة

لقد رأينا أن هناك ظروف أو حالات يحدث فيها أن البيانات المكانيّة الصريحة غير متوفرة لبناء نماذج نظم المعلومات الجغرافيّة. وفي بعض الحالات، يكون ذلك بسبب أن هذا العامل ليس في الواقع عاملاً بأي حال من الأحوال؛ بل بالأحرى ما هو إلا رابط بين العوامل المكانيّة الصريحة الأخرى. بعبارة أخرى، بعض البيانات الناقصة هي وظائف تُستخدم لمعالجة مجموعات من البيانات الموضوعيّة. ومثلما رأينا بالفعل، فإن هذه الوظائف تشمل المعاملات المحليّة، والتركزيّة، والنطاقيّة، والكتليّة، والشموليّة. بعض الأمثلة تأتي من الإصدارات القديمة من حزمة

التحليل الخرائطي (MAP) - النسخة الأولى، والتي لديها القدرة على رسم أو تمثيل شبكة موضوعيّة بأكملها لتصبح قيمة واحدة. مثل هذه المواضيع لا تمثّل في الواقع البيانات الموضوعيّة الفعليّة وإنما توفر مضاعِفات (Multipliers)، أو قيم وزنية للتطابق، أو حتى أجزاء من معادلة الانحدار كالتي طبقها توملن (١٩٨١م). هذه الأمثلة هي معامِلات غير مكانيّة لأن مواقعها ليس لها معنى مكانيّ داخل الشبكة لأن كل الأرقام متماثلة. لا تتطلب أحدث برامج نظم المعلومات الجغرافيّة الخلويّة، عادةً، أن تُنشأ الشبكة، إذ بدلاً من ذلك، يمكن إضافة عدد واحد، أو طرحه، أو ضربه، وهلمّ جرّا، لكل قيمة من قيم خلايا الشبكة وذلك لجميع أنحاء الشبكة المستهدفة (المطلوبة). كما يمكن تطبيق منهجيات مماثلة على هذه المعامِلات مثل الجوارات، والنوافذ المتحركة، وغيرها من البيئات غير الموضوعيّة. وبالرغم من أن لهذه الخلايا مواقع صريحة - إلا أنها لا تمثّل البيانات المكانيّة الموضوعيّة.

تُستخدم البدائل المكانيّة في حالة غياب أنواع محدّدة ومُفضلة من البيانات الخرائطيّة الموضوعيّة لنموذجنا. قد يكون المصطلح للبعض مصطلحاً جديداً، لكننا نستخدم البدائل المكانيّة في كثير من النماذج المألوفة في نظم المعلومات الجغرافيّة. وتبرز بيانات الاستشعار عن بعد من بين أكثر أنواع البيانات وضوحاً وأكثر التطبيقات شيوعاً. تأخذ الصور الرقميّة، في كثير من الأحيان، مظهر الخرائط الحقيقية، غالباً ما تُسمى بخريطة صورية - إلا أن عناصر بياناتها الأساسية هي في الأساس عناصر الإشعاع الكهرومغناطيسي. وعندما لا تُستخدم بصفتها بيانات فيزيائية حيوية خام (Jensen, 2000)، فإننا نستخدمها باعتبارها بدائل للمتغيرات البيئيّة الأخرى، مثل الكتلة الحيوية فوق السطح، وتصنيفات الغطاء النباتي، والغطاء الأرضي واستخدام الأراضي، وغيرها الكثير. وتشمل البدائل الأخرى، عدد المنازل باعتبارها بديلاً للسكان، أو أثمان المنازل بديلاً لمستويات الدخل في الأحياء، أو فئة التربة بديلا لمدى نجاح أو بقاء الزراعة. ولكي نستخدم هذه المتغيرات، نحن بحاجة إلى أن نستعين بتطبيق المتغيرات المترابطة في شكل من أشكال الخرائط الديزيزمترية (DeMers, 2000a)، الذي من خلاله نستطيع أن نتنبأ بتمغير واحد بناءً على وجود الآخر. وتعد المتغيرات المقيّدة والكثافة المتباينة في بعض الأجزاء، على النحو المفصل في عمل ديميرس (2000a)، طرائق شائعة أيضاً لخلق بدائل للمتغيرات المفقودة. ويمكن القول، أنه لا يحد من أعداد الطرائق أو التقنيات وأنواعها إلا خبرة وإبداع المنمذج فقط.

وبغض النظر عن النوع الذي يستخدم كبديل، فإن ما يُوصى به كثيراً هو أن تُختبر صلاحيته قبل تنفيذه. ويتم هذا في أغلب الأحيان من خلال إجراء شكل من أشكال تحليل الانحدار. وسواء كانت هذه التحليلات خطّيّة أو غير خطّيّة، أو معلمية (Parametric) أو غير معلمية، ذات متغير واحد أو متعدد، أو حتى لوجستية (منطقيّة) (Logistic)، يجب أن يُستخدم نوع من أنواع التنبؤ الإحصائي قبل استخدام البدائل. في الحقيقة أن خرائط البواقي من الانحدار للمتغيرات المرتبطة مكانياً يمكن، في كثير من الأحيان، أن تشير إلى علاقات جديدة بين المتغيرات التي ليست ظاهرة للعيان في الغالب (Thomas, 1964).

التنفيذ

عكس سير المخطط (تشغيل النموذج)

يبدأ المخطِّط المستخدَم لصياغة نموذج نظام المعلومات الجغرافيّة، في معظم الأحوال، بالناتج النهائي أو البيانات الموضوعيّة المشتقة النهائيّة. جرت العادة عند تشغيل (Run) صياغة نموذج ما أن تعكس الاتجاه، وفي ذلك يتم تنفيذ أصغر الأجزاء أولاً، ليستمر العمل على نحو متتابع: قسم واحد في الوقت الواحد، إلى أن يتم إنشاء المُخرج النهائي. ورغم أن المنهجيه الأساسية لم تتغير كثيراً، فإن واجهات المستخدم التفاعليّة (GUIs) المستخدمة في البرامج المتقدمة تولّد مجموعة من الأوامر البرمجية التي تدير تشغيل النموذج بصورة منتظمة على هذا النحو. هناك افتراض أساسي وهو أنك قد قمت بتنظيم المخطط في شكل هرمي سليم (انظر إلى التسلسل الهرمي في قسم لاحق). ينص تعريف نموذج نظام المعلومات الجغرافيّة صراحةً على أن ترتيب وتتابع النموذج أمرٌ أساسي. وإذا ما أحسنت صياغة وتخطيط النموذج فإن النموذج سوف يشتغل بشكل صحيح. ويقدم برنامج بانئ النماذج من معهد بحوث النظم البيئيّة (ESRI) مثالاً جيداً على كيفيّة عمل هذا، فالبرنامج ينتج مجموعة من النصوص البرمجية بـ Avenue Script التي تعكس سير المخطط، وينشئ كل المواضيع (الطبقات الخلويّة) الوسيطة، ثم المُخرج النهائي. إلا أن هناك متطلب أساسي لهذه العمليّة وهو أنه لابد من حفظ النموذج أولا. كما يسمح هذا للنموذج بإمكانيّة تعديله في وقت لاحق عن طريق إجراء تغييرات في واجهة المستخدم التفاعليّة. لقد جعل هذا البرنامج وغيره من البرامج المماثلة كامل عمليّة تشغيل نماذج نظم المعلومات الجغرافيّة واختبار نتائجها أكثر فاعليّةً ممّا كان عليه الوضع في السابق. وبالإضافة إلى ذلك، فإنها توفر وسيلة فعالة لتطبيق عمليات تعاقبية (معاودة)، لا سيما تلك المُستخدمة للنماذج الموصِّفة.

المعاودَة (تحسين النموذج / إضافة مواضيع بينيّة)

سوف تتطلب نماذج نظم المعلومات الجغرافيّة الكثير من عمليات الصقل أو التحسين، سواء كانت هذه النماذج وصفيّة أو موصِّفة، وتحتاج إلى المزيد من التفاصيل متى ما توفرت، وتصحيح الأخطاء المنطقيّة أو الرياضيّة متى ما اُكتشفت. سوف تتطلب النماذج الموصِّفة، بناءً على حساسيتها الظرفية، أيضاً، من المستخدم أن يشغِّل (ينفِّذ) النماذج كل مرة يصادف فيها حالة جديدة. إن أحدث برامج نظم المعلومات الجغرافيّة لديها القدرة على تخزين تسلسل الأوامر أو مراحل النمذجة (انظر الجزء المتعلق بحفظ سجل الخطوات، فيما بعد). هذا يسمح، رغم أنه غير ضروري، بتعديل أسهل للنموذج وذلك ببساطة من خلال تغيير المكونات الداخلية لتسلسل تنفيذ النموذج بدلاً من البدء من الصفر في كل مرة.

لقد رأينا في السابق فيما يتعلق بالمعاودَة (Iteration) أن برامج نظم المعلومات الجغرافيّة الحديثة تحتوي، أيضاً، على تصرحيات أو جُمَل شرطية برمجية (Statements) للمعاودة (مثل جُملتيِّ التكرار: "Do Until" و "If Then Else") والتي تسمح لك بعمل مهام متكررة. كما أن هذه التصريحات تسمح بمُدخلات من قبل المنمذج بدلاً من الاستمرار في التشغيل لحين وجود شرط معين. وفي معظم الحالات، يجري العمل كما في السابق، لكن الاستجابة

للشرط تتم من خلال سؤال المتمذج عن المُدخلات. وكما سنرى في الجزء التالي، فإنه كثيراً ما يكون من الأسهل أن تُطبق هذه العمليات على كل نموذج فرعي أولاً قبل الانتقال إلى النموذج الشامل.

تحتوي البرامج التجارية، أيضاً، على طريقة لتسجيل العمليات أثناء تنفيذها. ولذلك، فإذا برنامجك لا يسمح لك بإنشاء سلسلة أوامر صريحة قبل النمذجة، فإنه يمكن أن يسجل العمليات اليدوية التي تجريها ويحتفظ بسجل[٢] خاص بتتابع أو تسلسل هذه العمليات. وفي معظم الحالات، تتم كتابة هذا السجل في شكل من أشكال ملفات النصوص؛ حيث تستطيع أن ترجع إليه أو تعيد كتابته في شكل مجموعة من الأوامر المتسلسلة في وقت لاحق. يجب أن تستخدم طريقة واحدة أو أكثر من هذه التقنيات، متى ما كان ذلك ممكناً. هذا لا ينفي قدرتك على اختبار الخطوات التسلسية على انفراد قبل تشغيل النماذج الفرعيّة، ولكن هذه التقنيات سوف تحفظ العديد من الخطوات عندما يتطلب الأمر إجراء مهام متعددة أو تكون نماذجك معقدة.

التسلسل الهرمي للنموذج (التنفيذ المقصوري)

لقد رأينا أن مخططات سير عمل نماذج نظم المعلومات الجغرافيّة تسمح لنا بتجزئة المشكلات الكبيرة والمعقدة إلى الأجزاء المكونة لها. سوف يكون لدرجة التجزئة المستخدمة في صياغة النموذج أثراً بالغاً على قدرتنا في أداء المهام المعاودة أو التكراريّة، وعزل الشبكات الموضوعيّة المفقودة أو غير الصحيحة، وتصحيح الأخطاء عند اكتشافها، والتحقق من نتائج النموذج، وشرح النتائج لغير مستخدمي نظم المعلومات الجغرافيّة، وتقييم قبول النموذج. لهذه الأسباب، فإني أوصي بأن يتم تطوير نماذج نظم المعلومات الجغرافيّة في شكل مجموعة من الرسوم البيانيه على مستوى واحد بحيث لا تختلف عن تلك المستخدمة في المخططات البيانية لسير تدفق البيانات. كما أن برامج التخطيط المتضمنة في حزم نظم المعلومات الجغرافيّة لا تنفذ صراحةً هذا النهج الثابت الذي يبدو فيه كل نموذج فرعي بالمقابل كمستطيل واحد أو كنموذج كامل في حد ذاته. وبالرغم من هذا العائق الطفيف، فإن فائدة واجهة المستخدم التفاعليّة لإنشاء النماذج الفرعية، وتنفيذها، واختبارها، كل على حدة، قد تحسنت كثيراً.

ثمة تقنية سريعة للتأكد من أن هيكل نموذجك ذو معنى، وهي إنشاء رسم سريع (Sketch) لمخططك، مثلما قُدّم لك في الفصل السابق. وعليه، نبدأ في بناء التسلسل الهرمي في شكل رسوم بيانية محضة، من جذع الشجرة إلى الفروع الأولية ثم إلى الفروع الأصغر. فعلى سبيل المثال، إذا كان نموذجك هو نموذج صُمّم بهدف تحديد المواقع المحتملة للعثور على الأنواع المهددة بالإنقراض في الحياة البرية – لنقل بعض الثدييات آكلة اللحوم– فإننا نبدأ بإنشاء مستطيل المُخرج ونسميه: الموطن (Habitat). وكما رأينا مع مثال موطن الأسد الأمريكي في وقت سابق، فإننا ندرك أن الغذاء والماء، والعرن تعد الفروع الرئيسة للنموذج. يمكن – بعدئذ – أن نجزّئ كل من هذه الفروع إلى تفاصيل أكثر مع انتقالنا من المستويات الهرميّة العامة (العليا) إلى المستويات الأكثر تفصيلاً.

---

(٢) يسمى عادة بـ Logfile (المترجم)

لقد تمت مناقشة هذا بالتفصيل عند مرحلة بناء التصوّر، ولكن نحن بحاجة، أيضاً، إلى أن ننظر إليه في سياق مرحلة التنفيذ. والفكرة هي تحديد مكونات النمذجة لكل نموذج من النماذج الفرعيّة (في مثالنا، الغذاء، والمياه، والعرن). يمكن أن يُطلق عليها: أماكن الطعام، وأماكن المياه، وأماكن العرن، على التوالي، وذلك لإعطاء مُخرج النموذج الفرعي اسماء وصفيّة. والفكرة - عندئذ - هي تنفيذ كل من هذه الفروع لشجرتنا التصوّرية - كل نموذج فرعي - على انفراد. يتيح لنا هذا تنفيذ أي عمليّة من عمليات المعاودة، وطرح وإضافة الشبكات، وتشديد القيود أو تخفيفها دون أن يؤثر ذلك على النموذج النهائي. وما إن تتم عمليّة اختبار وظيفية كل نموذج فرعي (أو أنه اختبار للصلاحية والقبول)، فإن هذه الأجزاء (النماذج الفرعيّة) يمكن دمجها في نهاية المطاف في النموذج العام.

منهجيّة الخرائط الثنائية (معالجة التعقيد)

يصعب تتبع العديد من الفئات المحتملة لكل شبكة أثناء تنفيذ النمذجة. يصدق هذا بصفة خاصة عندما تتفاعل الكثير من الشبكات من خلال علميات المطابقة وغيرها من طرائق قياس المقارنة. ورغم أن البرامج المهنية (المتقدمة) عادةً ما تسجل هذه العمليات - إلا أنه قد يصعب أحياناً الرجوع إلى كل هذه التفاعلات عندما يُطلب من المنمذجين توضيح كيفية عمل النموذج بالضبط. هناك طريقتان بسيطتان عادةً ما تُطبقان للمساعدة في هذا المضمار. الأولى هي أن نعطي كل خريطة (سواء كانت خريطة مُدخلة أو مُخرجة) اسماً يصف ما تمثّله. وتُعتبر هذه الطريقة ذات أهمية خاصة للخرائط الوسيطة (البينيّة) التي قد يكون إسهامها للنموذج حيوياً، بالرغم من أن وجودها عادةً ما يُتجاهل، في كثير من الأحيان، بعد إكمال النموذج.

أما الطريقة الثانية فهي ذات صلة بالأولى؛ ذلك كونها تتطلب منا، متى ما كان ذلك ممكناً، أن نحد من فئاتنا داخل كل شبكة (خصوصا ما يتعلق بالشبكات الوسيطة). ولعل إحدى التقنيات التي يستخدمها العديد من المنمذجين، إنشاء خرائط ثنائية، بقدر الإمكان، مع اسماء للفئات مثل: تربة جيدة مقابل تربة سيئة، ونطاق جيد مقابل نطاق سيء، وانحدار جيد مقابل انحدار سيء. لقد كانت هذه الطريقة في بدايات نظام المعلومات الجغرافيّة أمراً شائعاً إلى حد ما -إلا أنها أصبحت قليلة الاستخدام في ظل زيادة قدرات برامج نظم المعلومات الجغرافيّة للتعامل مع فئات متعددة. لقد أثبتت هذه الطريقة فعاليتها في تسجيل سير العمليات، وساعدت في تبرير النموذج فيما بعد. وهناك العديد من الحالات عندما تكون هذه المنهجيات البوليانية (الثنائية) غير مناسبة - لا سيما عندما يتطلب النموذج ترتيباً وزنيّاً. وفي مثل هذه الحالات، يمكن للفئات المرتبة أن يكون لها، أيضاً، عبارات أو مصطلحات وصفيّة لتساعد المنمذجين في كل من تسجيل سير العمليات ومعاودَات النموذج عند الضرورة.

حفظ السجلات (صيانة الطبقات الشبكية الوسيطة)

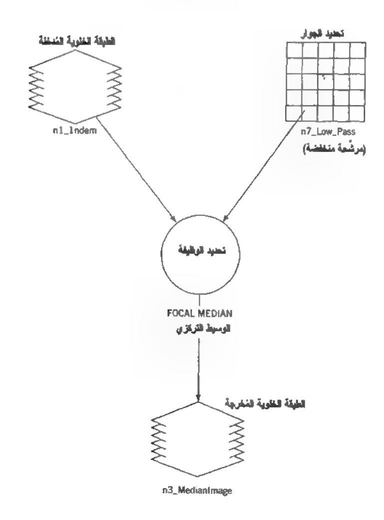
لقد كانت صيانة الطبقات الشبكية (الخلوية) الوسيطة في الماضي أمراً أساسياً؛ وذلك حتى يستطيع المنمذج أن يفسّر كيف رُكّب النموذج ونُفّذ فعلياً. ويصدق هذا بوجه خاص في حالة عدم وجود مخططات قياسية (لا سيما

تلك التي تبيّن العمليات المتبعة لإنشاء طبقات موضوعيّة وسيطة). ولكن حتى في غياب مثل هذه الطبقات، فإن معظم برامج نظم المعلومات الجغرافيّة الخلويّة، بل حتى البسيط منها، والأنواع التعليمية مثل برنامج OSU-MAP-for-the-PC، تتضمن إجراءات تسمح بتخزين مجموعات من الأوامر التي تسمح بإعادة إنشاء هذه الطبقات.

تتميز برامج نظم المعلومات الجغرافيّة الأكثر تقدماً بقدرتها على ربط برامج الصياغة والتخطيط بإنتاج مثل هذه الأوامر البرمجية. ويوضح الشكل رقم (٧,٥) مخططاً لنموذج تحليل تركزي باستخدام المنمذج المكاني في نظام إرداس. ومن خلال استخدام مكتبة النموذج في البرنامج ولغة المنمذج المكاني (SML) (ينبغي عدم الخلط بين هذا المصطلح مع ذلك الخاص بنسخة آرك إنفو القديمة) فإننا يمكن أن ننتج تسلسل الأوامر التالي:

```
# INPUT RASTER
# OUTPUT RASTER
# Focal Analysis
# FUNCTION DEFINITION
# Median Value
# Neighborhood Definition
#
# set cell size for the model
#
SET CELLSIZE MIN;
#
# set window for the model
#
SET WINDOW UNION;
#
# set area of interest for the model
#
SET AOI NONE;
#
# declarations
#
Integer RASTER n1_Indem FILE OLD NEAREST NEIGHBOR AOI NONE
"$IMAGINE_HOME/examples/Indem.img";
Integer RASTER n3_MedianImage FILE DELETE_IF_EXISTING USEALL ATHEMATIC 16
BIT UNSIGNED INTEGER "$IMAGINE_HOME/examples/MedianImage.img";
INTEGER MATRIX n7_Low_Pass;
{
#
# load matrix n7_Low_Pass
#
n7_Low_Pass = MATRIX(3, 3:
1, 1, 1,
1, 1, 1,
1, 1, 1);
#
# function definitions
#
n3_MedianImage = FOCAL MEDIAN ($n1_Indem, $n7_Low_Pass);
}
QUIT;
```

يبيّن هذا، وبشكل أساسي، أن برنامج عمل التخطيط يعمل بوصفه واجهة مستخدم تفاعليّة، في حين أن النص البرمجي الفعلي يُنتج في الخلف في نفس الوقت. ورغم أن هذا لا يخزّن صراحةً المواضيع الوسيطة الفعليّة – إلا أنه يوفر وسيلة لإعادة إنشائها متى ما رغبت في ذلك. ومع ذلك، فإنها لا تزال فكرة جيدة للحفاظ على المواضيع الوسيطة متى ما تم تشغيل النموذج، ذلك لأن هذا سوف يسمح لك بتشغيل النموذج مرة أخرى لمقارنة المواضيع لتقييم أي أخطاء حسابية محتملة. سوف ندرس هذا بمزيد من التفصيل في الفصل التاسع.



الشكل رقم (٧,٥). مثال على التخطيط باستخدام برنامج المنمذج المكاني في إرداس. في هذه الحالة نجد أن العمليّة هي استخراج القيمة المتوسطة لجوار تركزي.

توثيق عملنا بعد مخطط العمل (معلومات البيانات)

لم يكن ضرورياً، في كثير من الأحيان، قبل أن تصبح نمذجة نظم المعلومات الجغرافيّة أمراً شائعاً أن نوثّق مصادر البيانات المستخدمة، وجودتها، وفئاتها، وتسلسلها، وغير ذلك من العوامل. ويعود ذلك أساساً إلى وجود عدد قليل جداً من النماذج، إذ أن النماذج كانت، في كثير من الأحيان، تدريبات أكاديمية لإثبات قدرة البرامج المبكرة على تنفيذها. ومع النمو المتعاظم - نمواً لوغاريثميا تقريباً - في وفرة برامج نظم المعلومات الجغرافيّة عالية الحرفية، وقواعد البيانات الرقميّة، والنماذج التي تستخدم هذه البرامج وهذه القواعد، فإننا بحاجة إلى أن نكون قادرين على تحسين التبادلية التشغيلية للنماذج التي ننشئُها. وينطبق هذا بصفة خاصة على النماذج الفرعيّة التي أُنشئت من مجموعات بيانات موحدة (قياسية) لجهة حكومية واحدة والتي يمكن أن تُربط بنموذج أكبر في جهة حكومية أخرى. ولهذا السبب، وغيره من الأسباب، فإن حكومة الولايات المتحدة الأمريكية أنشأت لجنة الحكومة الاتحادية للبيانات الرقميّة (١٩٩٢م)، التي اعتمدت معايير تبادل البيانات المكانيّة (SDTS) لاستخدامها من قبل جميع المنظمات التي توفر البيانات للحكومة الاتحادية. ومن أهم المهام التي يجب الالتزام بها من قبل مقدمي الخدمة (البيانات)، هو أن يوثّقوا البيانات الهامة التي يُعتقد أنها ضرورية بأكبر قدر من التفاصيل، وذلك للسماح للجهات أو الوكالات الأخرى باستخدام هذه البيانات لأغراضها الخاصة.

ورغم أن العديد من الناس ينظرون إلى معلومات البيانات (Metadata) على أنها مهمة في إنشاء مجموعة البيانات -إلا أنهم لا يربطون دائماً فكرة معلومات البيانات وقواميس البيانات مع عمليّة النمذجة نفسها، إلا بقدر ما سوف يحتاجونه من دراسة لصحة النموذج حين اكتماله. ورغم أن هذا صحيح بالتأكيد -إلا أن الكثير من أوصاف الفئات التي تفتقر إلى التفاصيل الكافية قد ينتج منه عجزاً كاملاً في تشغيل النموذج مطلقاً. إننا نجد، على سبيل المثال، أن أوصاف مثل هذه الفئات: الصحراوية، والأراضي الرطبة، والمنتزهات، والأحوال الفصلية المتعاقبة السابقة، هي كلها فئات كثيراً ما نصادفها سواء في خرائط الغطاء الأرضي أو في خرائط استخدام الأرض، أو في كليهما. وبدون توفر قدر كبير من هذه الأوصاف لما تعنيه هذه الفئات فإن القدرة على تحويل ونقل مجموعات البيانات من نموذج واحد لآخر يمكن أن يعرقل أو يوقف تماماً هذه العمليّة.

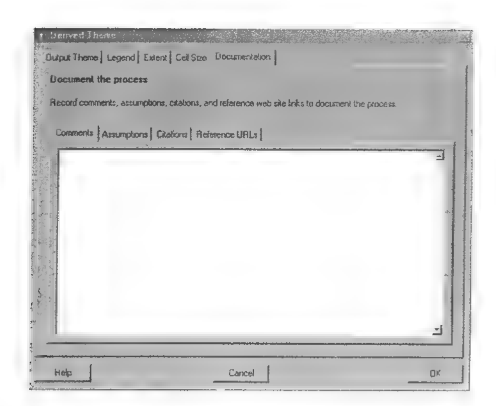
وبسبب التأثير المحتمل على النمذجة، وخاصة فيما يتعلق بتبادلية التشغيل للنموذج، فإنه من الضروري أن يتوفر قاموس للبيانات ومعلومات عن البيانات، بالإضافة إلى مخططات مفصلة وقوائم بالأوامر البرمجية المستخدمة. ولحسن الحظ، فإن بعض هذه المهام أصبحت، أيضاً، جزءا من عمليات صنع مخططات الصياغة. يوفر كلاً البرنامجين المذكورين، هنا، فرصا لتوثيق شروط الاستخدام، وجوانب هامة للمُدخلات من الخرائط الوسيطة، وحتى تفاصيل الوظائف المستخدمة في النموذج (على سبيل المثال، تفاصيل عن أحجام النطاقات أو الأحزمة وأعدادها). ويوضح الشكل رقم (٧,٦) قدرات برنامج باني النموذج في حزمة ArcGIS من ESRI لتوثيق كل من الشبكات وعمليّة النمذجة أثناء سير عمليات التخطيط والصياغة.

ومع أن هذه الأدوات أصبحت أكثر قوة - إلا أنه يجب أن تتذكر، أيضاً، أن عمليّة إنتاج معلومات البيانات يمكن أن تصبح معقدة جدا. ولهذا السبب، فإن القدرات التوصيفية لبرامج نظم المعلومات الجغرافيّة الخلويّة تكون، في الغالب، غير كافية لتوفير توثيق كامل، ورسمي، ومقبول حسب شروط لجنة البيانات الحكومية الفيدرالية (FGDC). ويعد هذا الرابط (URL) التالي واحداً من أكثر مواقع الشبكة العنكبوتية المتزايدة شموليةً التي تسمح بإنشاء معلومات البيانات بطرائق يدوية وآلية: http://www.fgdc.gov/metadata/toollist/metatool.html. ضع في اعتبارك أن صفحات الويب والمواقع على شبكة الإنترنت تتغير بسرعة، لذلك فقد تضطر إلى تحديث وصلة اختصار العنوان للرابط أعلاه من وقت لآخر.

تقديم نتائج فعالة (تشديد القيود وتخفيفها)

سوف يكون هناك أحياناً بعض الحالات التي إما تتحقق فيها الشروط البيئيّة لأي من المقصورات (النماذج الفرعية)، وإما للنموذج بأكمله؛ وذلك لكامل منطقة الدراسة، وإما لا يمكن تلبيتها في أي مكان على الخريطة. تتسبب هاتان الحالتان في مشكلات محتملة للمنمذج. فعندما تتحقق الشروط لكل خلية في الشبكة الموضوعيّة داخل المقصورة الواحدة، فإن النتيجة هي أنك لم تُحِط بأبعاد مشكلتك من الموضوع المشتق أو المُخرج من هذه العملية. وبعبارة أخرى، لا تضيف النتيجة جديدا للنموذج العام. وهذا يشير إلى أنه يمكن إلغاء المقصورة من النموذج، ولو أنها، في الغالب، فكرة غير جيدة؛ ذلك أن هناك سبب واضح في بداية الأمر استلزم تضمين المقصورة في النموذج. وتحدث هذه الحالة، عادةً، عندما تكون القيود العددية أو المنطقيّة المسندة إلى المقصورة متساهلة جداً. ولعل أبسط حل لهذا، دون إلغاء المقصورة تماماً، مناقشة الخبراء عن أفضل السبل لتشديد القيود. وما إن تُضيِّق القيود، يجب عليك أن توثّق هذا التغيير في قاموس بياناتك، وستكون بعدئذ جاهزاً لتنفيذ النموذج المعدل حديثاً.

يضاف إلى ذلك، بالطبع، احتمالية أن قيود كل مقصورة هي في الواقع مشددة بما فيه الكفاية، فقد يكون هناك جزء من موضوع الشبكة لا يحقق المعايير، لكنه المكان الذي لم تستطع شبكة النموذج النهائيّة التخلص تماماً من خلايا الشبكة لتقديم إجابة مفيدة. ومرة أخرى، قد يتطلب هذا تشديداً للقيود. وفي هذه الحالة، يصبح من الضروري، على أي حال، تقييم الحاجة إلى تشديد القيود على الشبكات الموضوعيّة، كل على حدة، أو أن وزنة المواضيع نفسها يجب أن تُعدَّل بحيث تصبح المواضيع الشبكية ذات الاحتمالية الأكبر في تقييد النموذج هي المواضيع الأكثر أهمية. ولأن كل نموذج هو فريدٌ من نوعه، وأن احتياجات المستخدم هي ما يحدّد المقبول من القيود، فإنه لا يوجد حل بسيط لأي من هذه المنهجيات التي يجب عليك أن تتبعها. وفي هذه الحالة، يمكنني أن اقترح أن تنفّذ تحليلاً لحساسية التباين(Sensitivity Analysis) على مواضيع النموذج الشبكية للمساعدة في تحديد المنهجيّة. لا يلزم أن يكون تحليل الحساسية هذا تحليلاً حاسوبياً مكثفاً، وفي الحقيقة، لا يلزم أن يكون رياضياً مطلقاً. وفي كثير من الأحيان، يكون لدى المنمذج شعوراً بأهمية كل شبكة للنموذج وآثارها على القيود المحتملة.



الشكل رقم (٧,٦). جزء من واجهة برنامج باني النماذج من ESRI، يظهر كيف يمكن توثيق الطبقات الشبكية الخلوية بقاموس البيانات ومعلومات البيانات الأخرى.

ولكن على الرغم من أن هناك ظروف يحدث أن تكون فيها المعوِّقات أو القيود البيئيّة فضفاضة جداً حيث لا يستطيع النموذج التخلص من جزء كبير من الخريطة ؛ نظراً إلى شروطها غير المقبولة – إلا أنه من المحتمل جداً أن يحدث عكس ذلك. من السهل أن تكون متشدداً جداً إلى حد ما في تطبيق القيود البيئيّة ، وفي هذه الحالة ، فإن المُخرج من مواضيع المقصورة المشتقة أو من مواضيع النموذج العام النهائيّة يكون عبارة عن مجموعة من الخرائط التي لا تتحقق فيها المعايير البيئيّة في أي خلية من خلايا الشبكة. والفكرة هي أن تخفف القيود المطبَّقة على كل موضوع أو على مجموعة حساسة من مجموعات البيانات الموضوعيّة الشبكية المستخدمة في النموذج. إن أفضل ما يمكن عمله لمعالجة القيود – كما رأينا من قبل – هو أن يتم ذلك من خلال استشارة الخبراء والمستخدمين. تذكَّر أن تُدرج ما يستجد من مستويات القيود وأوزان الشبكة في قاموس بياناتك وملفك الخاص بمعلومات البيانات.

في الوقت الذي تأخذ عمليّة تشديد القيود أو تخفيفها مجراها ، فإن هناك إمكانيّة أن يتعرض الهدف الأصلي للنموذج لتنازلات. ينبغي الحرص على ضمان أن يكون أثر هذه الموازنة في أدنى حد ممكن. وعلاوة على ذلك ، فإنه

من الضروري أن تُوثّق أي تغييرات في القيود توثيقاً جيداً، وأن تُشرح تأثيراتها المحتملة على نتائج النمذجة، لا سيما للعملاء غير المختصين في نظم المعلومات الجغرافيّة وحتى إذا كان النموذج خاصاً بك فقط، فمن المهم أن تحتفظ بكل من قيم القيود النهائيّة والقيم الأصلية، ربما كجزء موسع لقاموس البيانات أو كمعلومات للبيانات حتى يتسنى لك تذكر كيف تمت صياغة النموذج. يسمح هذا لك بتوثيق ليس ما عملته فقط، بل، أيضاً، ما كان أقل نجاحاً. إن فائدة توثيق التجارب غير الناجحة لا تقل، في كثير من الأحيان، عن فائدة توثيق تلك الناجحة.

مراجعة الفصل

تُعتبر كل من عمليتي تخطيط وصياغة نماذج نظم المعلومات الجغرافيّة عمليتين حاسمتين في عمليّة النمذجة. ولقد أصبح من المألوف أن تشتمل برامج نظم المعلومات الجغرافيّة المتقدمة اليوم على برامج لعمل التخطيط، إذ أنها تربط هاتين العمليتين بتنفيذ النموذج. يسمح هذا الارتباط الصريح للمنمذج أن يظل مركزاً على عمليّة النمذجة في الوقت الذي يقوم بعمل تغييرات على مخطط سير العمليات. ومن خلال استخدام النموذج الهرمي أو الشجري، فإن عمليات الصياغة ووالتخطيط تبدأ من الجذع (أو جذور، إذا كان هناك مُخرجات متعددة لمنتجات المعلومات المكانيّة).

تسمح مخططات نظم المعلومات الجغرافيّة للمنمذجين باستعراض العمليات الكاملة التي يحاولون محاكاتها. ومن خلال دراسة هذه الوثائق، يمكننا أن نحدّد أنواع العناصر الشبكية اللازمة لتغذية النماذج الفرعيّة. وفور الانتهاء من ذلك، يجب أن تُربط هذه النماذج الفرعيّة من خلال مجموعة متنوعة من المعامِلات المحليّة، والتركزيّة، والنطاقيّة، والكتليّة، والشموليّة المتاحة لنا في أدوات نظام المعلومات الجغرافيّة الخلوي. يتطلب هذا على الأقل فهماً أولياً للروابط الوظيفيّة فيما بين النماذج الفرعيّة. وفي بعض الحالات، كما في نموذج ليسا الجمعي، قد يكون تصور النموذج وعمله مقرراً مسبقاً من قبل الوكالة أو المؤسسة المسؤولة عنه. وللحالات التي تكون فيها النظم الطبيعية والنظم الاجتماعية – الاقتصادية نفسها أقل تنظيماً ووضوحاً، فإن عمليتي التخطيط والصياغة تصبحان أكثر صعوبة وبدرجة لا يستهان بها. كما أن النماذج الموصّفة تضيف، أيضاً، مزيداً من التعقيد. ويمكن تطبيق المخططات وتقنيات الاستعراض والوصف البديلة بهدف اختيار الشبكات اللازمة للنموذج حتى لتلك النماذج الأكثر تعقيداً.

علاوة على ذلك، يمكن أن تساعد هذه التقنيات، أيضاً، في ربط النماذج الفرعيّة بعضها ببعض؛ وفي تحديد مكونات النموذج الناقصة، والزائدة، والمربكة؛ وفي إيجاد البدائل المكانيّة لتلك الشبكات الموضوعيّة التي لا توجد مباشرة. كما أن هذه التقنيات نفسها يمكن، أيضاً، أن تدعم اختيار المعامِلات اللامكانيّة (الوصفيّة) التي تربط بين المكونات الداخلية للنموذج الفرعي، إضافةً إلى الربط بين النماذج الفرعيّة نفسها.

ولأن برامج نظم المعلومات الجغرافيّة الحديثة تسمح لنا بربط عمليات الصياغة، والتخطيط، والتنفيذ، فإن لدينا، أيضاً، القدرات الضرورية لبناء نماذج أولية، نموذج فرعي في الوقت الواحد، وصقلها حسب الضرورة. وللنماذج الأكثر تعقيداً، يمكننا، أيضاً، أن نجري معالجة معاودة أو متكررة متى ما تم الحصول على بيانات جديدة، أو متى ما تم اكتشاف مفاهيم جديدة، أو متى ما تغيرت السيناريوهات في النماذج الموصّفة. وأخيراً، فإن المخطط، بوصفه تمثيلاً لصياغة النموذج، سوف يسمح لنا بتوثيق النموذج، وذلك بسبب التقدم في القدرات التخطيطية في نظم المعلومات الجغرافيّة، إضافةً إلى المكونات الوصفيّة الضرورية جداً لإنشاء معلومات البيانات والتحليلات اللاحقة المتعلقة بالتحقق من النموذج، واختبار صلاحيته، وقبوله.

مواضيع المناقشة

١- تعد كل من عمليتي الصياغة والتخطيط مهمة جداً قبل تنفيذ النموذج، لا سيما مع نماذج نظم المعلومات الجغرافيّة المعقدة. ناقش الأسباب وراء ذلك.

٢- لماذا تعد برامج التخطيط المتكاملة أكثر فائدة سواء من البرامج المستقلة أو التخطيط اليدوي لصياغة نماذج نظم المعلومات الجغرافيّة الخاصة بك؟ اجعل مناقشتك تشتمل على دور هذه البرامج المتكاملة في عرض نموذج نهائي لأحد العملاء وفي عمليّة التحقق من النموذج وتحليل قبوله.

٣- اختر من الدراسات السابقة مقالاً يشرح صياغة وتخطيط نموذج في نظم المعلومات الجغرافيّة. وإذا كان المقال يتضمن مخططاً، حاول تحديد أي الأجزاء الناقصة التي لم يرد شرحها في النص المتعلق بالمخطط. وإذا لم يوجد مخطط، حاول أن تنشئ واحداً من واقع شرح النموذج. ناقش أين تكون الأجزاء الناقصة واشرح لماذا تعتقد أنها مفقودة وكيف يمكن أن تسد ما نقص.

٤- يمكن اعتبار عوامل نموذج جيني (Jenny, 1941) الخمسة الخاصة بتكوين التربة على أنها خمسة نماذج فرعيّة لشرح كيفيّة تشكُّل التربة، ولقد وردت في الكتاب باعتبارها مثالاً لنموذج عام (غير مصقول) من نماذج نظم المعلومات الجغرافيّة. وكتمرين ذهني، قم بإنشاء نموذج بنظام المعلومات الجغرافيّة ينتج منه تنبؤا بنوع التربة على أساس العوامل الخمسة التالية: المناخ، والمواد العضوية، والتضاريس، والمواد الأولية، والزمن. صغ هذا النموذج الافتراضي وضع له مخططاً يبيّن سير عمله. اقترح أفكاراً أخرى عامة يمكن أن تكون نماذج محتملة.

٥- لنفترض، جدلاً، أنك تحاول تنفيذ نسخة نظام المعلومات الجغرافيّة من نموذج ليسا (LESA) وأنه في أثناء عمل ذلك، اكتشفت أنه عندما قمت بدراسة المناطق ذات الطبيعة الخاصة أو الحساسة في مقاطعة دوغلاس وجدت أن هذه المناطق منتشرة في جميع أنحاء المقاطعة. في الواقع، إن هذا الظهور لهذه الأراضي يحدث لدرجة أن هذا النموذج الفرعي بالذات (الخاص بالمناطق الحساسة) يشير إلى أنه لا توجد أرض يمكن تحويلها. ناقش كيف يمكن أن

تخفف القيود المفروضة على هذا العامل. ناقش مع ذلك، أيضاً، كيف يؤثر هذا على نتائج النموذج والغرض العام الذي من أجله تم تطوير نموذج "ليسا".

٦- يشير نموذج ليسا الخاص بتقويم الموقع الذي تمت مناقشته في هذا الفصل والفصول السابقة إلى أن الوحدات الفرعيّة أو المقصورات تعد بسيطة نسبياً. وباستخدام المناقشة في هذا الفصل والقائمة التالية لتقييم عوامل تقييم الموقع ومستويات التوافق، اشرح بالتفصيل الأسئلة التي تحتاج إلى إجابات، والأجزاء المفقودة اللازمة لتخطيط وصياغة نماذج فرعيّة مكتملة.

عوامل تقييم الموقع، وأوزانها، وقيم توافقها

نسبة مساحة الأرض الواقعة في الزراعة ضمن ١،٥ ميلا (الوزن ٨)

القيمة	الشرط
١٠	٩٥٪ من الأرض في مجال الزراعة
–	٥٠٪ من الأرض في مجال الزراعة
١	١٠٪ من الأرض في مجال الزراعة

الأراضي الواقعة في مجال الزراعة والمجاورة للموقع (الوزن ١٠)

القيمة	الشرط
١٠	جميع جوانب الموقع في مجال الزراعة
–	جانب واحد مجاور لأرض غير زراعية
–	جانبان للموقع مجاوران لأرض غير زراعية
–	ثلاثة جوانب للموقع مجاورة لأرض غير زراعية
١	الموقع محاط بأرض غير زراعية

حجم المزرعة (الوزن ٧)

القيمة	الشرط
١٠	$\leq$ ١٢٠ فدان
–	٨٠ – ١٢٠ فدان
–	٤٠ – ٨٠ فدان
–	٢٠ – ٤٠ فدان
–	١٠ – ٢٠ فدان
٠	$<$ ١٠ فدان

متوسط حجم قطعة الأرض ضمن ١ ميل من الموقع (الوزن ٩)

القيمة	الشرط
١٠	≤ ١٢٠ فدان
-	٨٠ — ١٢٠ فدان
-	٤٠ — ٨٠ فدان
-	٢٠ — ٤٠ فدان
-	١٠ — ٢٠ فدان
٠	< ١٠ فدان

الاستثمار الزراعي في تطوير الممتلكات ضمن ٢ ميل (الوزن ١٠)

القيمة	الشرط
١٠	مستوى عال من الاستثمار في المنشآت الزراعية (طويل الأجل)
-	مستوى معتدل من الاستثمار
٠	مستوى متضائل من الاستثمار

نسبة المنطقة المخصصة للزراعة ضمن ١،٥ ميلا (الوزن ٨)

القيمة	الشرط
١٠	≤ ٩٠٪
-	٧٥٪ - ٨٩٪
-	٥٠٪ - ٧٤٪
-	٢٥٪ - ٤٩٪
١	< ٢٥٪

تخطيط استعمال الموقع والمجاور له (الوزن ٦)

القيمة	الشرط
١٠	الموقع وكل الجوانب المحيطة به مُخصصة للزراعة
-	الموقع مُخصص للزراعة ويحيط به من جانب واحد استعمال سكني منخفض الكثافة
-	الموقع مُخصص للزراعة ويحيط به من جانبين استعمالات سكنية أو تجارية أو صناعية
١	الموقع محاط باستعمالات سكنية أو تجارية أو صناعية

توفر الأراضي المخططة للاستخدام المقترح (الوزن ٦)

القيمة	الشرط
١٠	الأراضي غير المطورة والمخططة للاستخدام المقترح هي خارج مجالات النمو الحضري الرئيس والثانوي للمدن المدرجة
٠	لا يوجد أراضي متاحة للاستخدام المقترح (هذه القيمة يمكن تخصيصها فقط عندما تكون القطعة داخل مجالات النمو الحضري الرئيس أو الثانوي)

توفر الأراضي غير الزراعية أو أقل إنتاجية كموقع بديل ضمن المنطقة (الوزن ٦)

القيمة	الشرط
١٠	مقدار كبير متاح
-	مقدار معتدل متاح
٠	لا شيء متاح

الحاجة إلى مزيد من الأراضي الحضريّة (الوزن ٨)

القيمة	الشرط
١٠	أراضي شاغرة وقابلة للبناء داخل حدود المدينة، قادرة على استيعاب الاستخدام المقترح
١	أراضي محدودة أو غير شاغرة متبقية داخل حدود المدينة لاستيعاب الاستخدام المقترح

توافق الاستخدام المقترح مع المنطقة المحيطة (الوزن ٧)

القيمة	الشرط
١٠	متوافق
-	متوافق إلى حد ما
٠	غير متوافق — استعمالات مكثفة بدرجة عالية

ظواهر متميزة طبوغرافياً أو تاريخياً أو فريدة في غطائها الأرضي أو مشاهد طبيعية ذات سمات جمالية مميزة (الوزن ٣)

القيمة	الشرط
١٠	كل الموقع
-	جزء من الموقع
٠	لا شيء من الموقع

الموقع مجاور لأراضي ذات تميز في ظواهرها الطبوغرافية أو التاريخية أو غطائها الأرضي أو مشاهد طبيعية ذات سمات جمالية مميزة (الوزن ٢)

القيمة	الشرط
١٠	على جميع جوانب الموقع
-	على ثلاثة جوانب من الموقع
-	على جانبين من الموقع
-	على جانب واحد من الموقع
٠	ليس للموقع أي جانب مجاور لهذه الظواهر الفريدة

الموقع عرضة للفيضانات أو أنه في مجرى التصريف المائي (الوزن ٨)

القيمة	الشرط
١٠	كل الموقع
-	٥٠ ٪ من الموقع
٠	لا شيء من الموقع

مدى ملاءمة التربة للتخلص من النفايات في الموقع (الوزن ٥)

القيمة	الشرط
١٠	كل الموقع
-	٥٠ ٪ من الموقع
٠	لا شيء من الموقع

التوافق مع المخطط الشامل المعتمد (الوزن ٥)

القيمة	الشرط
١٠	تقييدات التربة تحد من استعمال نظام للتطهير
-	تقييدات التربة يمكن التغلب عليها من خلال إدارة خاصة
٠	تقيدات محدودة أو لا توجد

ضمن منطقة مخصصة للنمو (الوزن ٥)

القيمة	الشرط
١٠	منطقة ريفية

- نطاق خزان التصريف الصحي في كليتتون[٣]
- منطقة نمو الضواحي
- منطقة النمو الرئيس

المسافة من حدود المدينة (الوزن ٦)

القيمة	الشرط
١٠	> ٢ ميل
-	≥ ٢ ميل
-	≥ ١,٥ ميلا
-	≥ ١ ميل أو أقل
-	≥ ٠,٥ ميلا أو أقل
•	ملاصقة

المسافة من شبكة النقل (الوزن ٥)

القيمة	الشرط
١٠	الوصول إلى شبكة النقل محدود ويهيمن عليه طرق بلدات ريفية
-	يوجد وصول إلى طرق محسّنة للمقاطعات أو إلى طريق سريع داخل مناطق نمو الضواحي
-	يوجد وصول إلى طرق محسّنة للمقاطعات أو إلى طريق سريع داخل مناطق النمو الرئيسة
•	الوصول متاح لجموعة كاملة من خدمات النقل

المسافة من شبكة المياه المركزية (الوزن ٤)

القيمة	الشرط
١٠	لا يوجد مياه ضمن ١ ميل
-	يوجد مياه ضمن ٢٠٠٠ قدم
•	يوجد مياه في الموقع

المسافة من خطوط الصرف الصحي (الوزن ٤)

القيمة	الشرط
١٠	لا يوجد خطوط مجاري ضمن ١,٥ ميلا

(٣) مدينة في أمريكا (يمكن استبدال المدينة هنا للاستفادة من النموذج - المترجم)

- خطوط المجاري ضمن ١ ميل
- خطوط المجاري ضمن ١,٥ ميلا
- • خطوط المجاري مجاورة للموقع

أنشطة تعليمية

١- اختر ثلاثاً من المجموعات السبع لعوامل تقييم الموقع في نموذج ليسا الخاص بمقاطعة دوغلاس، كانساس، ثم قم بتقسيمها إلى عناصرها الفردية من الخرائط الشكبية. الآن أنشئ مخططاً بسيطاً (فقط باستخدام صناديق للبيانات وأسهم للنصوص للروابط والوظائف) لكل من هذه النماذج الفرعيّة.

٢- قم الآن بربط النماذج الفرعيّة الثلاثة التي عملتها في النشاط السابق مع بعضها لإظهار كيف تمت عمليّة الربط. خذ في الاعتبار أنه بالرغم من أن النموذج يعتبر نموذجاً خطياً بسيطاً جمعيّاً (مضافاً) -إلا أن له وزن صريح مسند لكل شبكة موضوعيّة. هذه الوزنة يجب أن يشملها نموذجك، أيضاً.

٣- استخدم الآن قدرات التخطيط الآلية في نظام المعلومات الجغرافيّة الخلوي الخاص بك (إذا كان ذلك متاحاً) وكيّف كل من المخططات التي عملتها في النشاط الثاني للتوافق مع هذا البرنامج.

٤- حمّل قاعدة بيانات نموذج ليسا لمقاطعة دوغلاس واحصل على نسخة من مقال وليامز (١٩٨٥م) الذي على أساسه تم إنشاء مجموعة البيانات. استخدم برنامج تخطيط النموذج الموجود في برنامج نظام المعلومات الجغرافيّة الخاص بك لتنفيذ أكبر قدر من الجزء الخاص بتقييم الموقع في نموذج ليسا، وذلك بقدر الإمكان. قد تضطر الى اتخاذ قرارات أحادية الجانب حول درجات التقييم وبعض التفاصيل المحدّدة.

٥- باستخدام النموذج الذي عملته في النشاط أعلاه (٤)، قم بعمل بعض التغييرات في درجات التقييم، أو في الأوزان التي قمت بتخصيصها للنماذج الفرعيّة، ثم شغّل النموذج مرة أخرى لترى عن قرب قدرات نظام المعلومات الجغرافيّة في تخزين النماذج وفي إمكانيّة إجراء هذه التعديلات.

٦- باستخدام قاعدة البيانات نفسها (أعلاه)، تخيّل أنك وكالة اتحادية وتخطط لاستخدام مجموعة من البيانات لأغراض أخرى غير نموذج ليسا. الآن، وباستخدام طريقة آلية من الطرائق المتاحة لإنشاء معلومات البيانات (Metadata) أو نسخة مطبوعة من استبيان مُعد لتسجيل هذه المعلومات، ضع قائمةً تحدّد الجوانب المتعلقة بالشبكات الموضوعيّة التي لم تُحدّد تحديدا جيدا أو أنها كلها ناقصة. اشرح كيف أن نقص هذه التفاصيل قد يفضي إلى مشكلات في استخدام قاعدة البيانات لتطبيقات بديلة غير تلك الخاصة بنموذج ليسا.

الفصل الثامن

حل التعارض والنمذجة الموصّفة
CONFLICT RESOLUTION AND PRESCRIPTIVE MODELING

أهداف تعليميّة

يُفترض أن يكون الطالب قادراً بعد إكمال هذا الفصل وتعزيز محتوياته بقراءات خارجية، وبالبحث وبالممارسة العمليّة على عمل ما يلي:

١ - تحديد بعض الأمثلة على التعارضات المكانيّة وأنواعها بشكل واضح بحيث يمكن استخدام نظم المعلومات الجغرافيّة للمساعدة في حلها.

٢- تحديد الاختلاف بين عوامل الموقع (المكان) وعوامل الوضع القائم فيما يخص التعقيد أو التعارض المكاني وتخصيص الأرض.

٣- وضع قائمة لبعض الأمثلة البسيطة لاستخدام نظم المعلومات الجغرافيّة لحل التعارضات المكانيّة من خلال عرض بدائل مكانيّة مختارة.

٤- استخدام نظام معلومات جغرافيّة خلوي مع قواعد بيانات موجودة، وتنفيذ شكل من أشكال حل التعارض المكاني باستخدام نموذج أورفيوس لتخصيص استخدام الأرض (Orpheus Land Use Allocation Model) في هذا الفصل.

٥- بيان أوجه القوة والقصور في نموذج أورفيوس.

٦- شرح كيفيّة استخدام بناء التوافق والمنهجيات الهرميّة في حل التعارض المكاني.

٧- وصف إمكانيّة استخدام تحليل الحساسية وتحليل العوامل الأولية في حل التعارض المكاني.

٨- وصف مختصر لما يمكن أن يقدمه المفهوم الهدبي (Fuzzy) لحل التعارض المكاني.

٩- اقتراح بحوث إضافية مطلوبة في تطبيق نظم المعلومات الجغرافيّة لحل مشكلة التعارض المكاني.

١٠- مناقشة أدوار كل من تصور النموذج، وصياغته، وتخطيط سير عمله في عمليّة حل التعارض المكاني، خاصة متى ما تعلق الأمر بعمليّة اختبار صلاحية النموذج.

١١- شرح مزايا نظام المعلومات الجغرافيّة الخلوي مقارنةً بنظام المعلومات الجغرافيّة الخطي في حل التعارض المكاني.

١٢- مناقشة عنصر الخطأ من حيث انطباقه على حل التعارض المكاني.

مقدمة

لقد رأينا أن من بين أهم خصائص النمذجة بنظام المعلومات الجغرافيّة، القدرة على المساعدة في صنع قرارات متعلقة بالمكان (Cromley and Hanik,1999). ولعل من بين أصعب القرارات في هذا الشأن، تلك التي تتعلق بالمطالب المتضاربة (المتعارضة) على قاعدة محدودة من موارد الأرض. هذه الصراعات تتجاوز النزاعات الحدودية، والتي تكون فيها قضايا ملكية الأرض والمواقع الدقيقة هي القضايا الرئيسة، إلى النماذج الموصَّفة الخاصة بتخصيص أو توزيع الأرض ضمن إطار الحدود؛ حيث نجد أن لأصحاب المصلحة آراء متعارضة بشأن استخدام قاعدة موارد الأرض (Lesser, et al., 1991). هذه المشكلات الأخيرة كثيراً ما تتجلى فيما يعرف بمشكلة استخدام الأرض غير المقبول محلياً (Locally unacceptable land use –LULU) أو مشكلة "ليس في عقر داري" (NIMBY)، ويحدث هذا عندما تعارض المجتمعات المحليّة مثلاً وجود مصانع لمعالجة النفايات، ومرافق للنفايات الصلبة، وخطوط الضغط العالي، وأبراج الهاتف الخلوي، والطرق، ومنشئات عامة أخرى لأسباب متعلقة بالنواحي الجمالية، أو الضوضاء، أو التلوث، أو الرائحة، أو النواحي الصحية، أو الاقتصادية، أو غيرها من الآثار السلبية المحتملة سواء كانت حقيقية أو متصورة. لهذا يمكن الاستفادة من النظم الفرعيّة التحليلية والمُخرجات من نظام المعلومات الجغرافيّة في صنع قرارات تتعلق إما بالتخلص من هذه الآثار، وإما للتخفيف من حدتها. وفي حالات أخرى، يستطيع البرنامج أن يوفر وسيلة يمكن التحقق منها للتأكد من الحقوق القانونية والمسؤوليات لكلا الطرفين (المخطط والمستفيد) أو كوسيلة لاقتراح المواقع البديلة التي تلبي، إلى حد ما، احتياجاتهما المتضاربة.

سوف يوضح هذا الفصل بعض الأساليب الواضحة في استخدام نظم المعلومات الجغرافيّة للمساعدة في عمليّة حل التعارضات المكانيّة وسوف يبيّن بإيجاز بعض المنهجيات التي لم تُنفذ بعد حتى الآن والتي تقوم على بدائل منطقيّة أو تقنيات إحصائية. يُستخدم نظام المعلومات الجغرافيّة في المقام الأول، في بعض الحالات، باعتباره أداة استعراض لعرض مصادر التعارض أو حدّته وذلك كأساس للمناقشة، وبناء التوافق في الآراء، في حين أنه، في حالات أخرى، تُستخدم الأدوات التحليلية لبناء حلول موصَّفة تستند إلى حلول مقترحة. وتعد هاتين المنهجيتين الأخيرتين، في معظم الأحيان، أكثر تطبيقاً في المنهجيّة التكراريّة (المعاودة)؛ حيث يستجيب أصحاب المصلحة لسيناريوهات، وبذلك يتفاعلون مباشرة مع مصمم نماذج نظم المعلومات الجغرافيّة. وأخيراً، وفي أكثر الحالات تعقيداً، يمكن استخدام نظم المعلومات الجغرافيّة لاستخلاص حلول بديلة، مرة أخرى من خلال النمذجة الموصَّفة، وهذا يسمح لصناع القرار

بوضع الصيغة النهائيّة للخطط ؛ ذلك أن تفويضاتهم القانونية (على سبيل المثال، نزع الملكيات) لا تترك إلا فرصة محدودة للمشاركة الخارجية - لكن لا يحدث هذا إلا إذا كان الحد من الآثار هو الهدف النهائي.

ورغم أن نظم المعلومات الجغرافيّة قد تبدو تقنية مناسبة للنمذجة متعددة الأهداف، والتي تهدف في المقام الأول إلى حل التعارضات - إلا أنه من الغريب أن الدراسات المنشورة قليلة حول هذا الموضوع (Tomlin and Johnson, 1991)، على الرغم من أن الأمثلة العمليّة في الواقع متاحة، على الأرجح، لكنها غير منشورة في وسائل النشر العلمية. ويبدو أن غالبية النمذجة بنظم المعلومات الجغرافيّة لعمليّة صنع القرار قد نزلت إلى مرتبة النمذجة الوصفيّة، خاصة تلك المعنية بتوليد مُخرجات يستطيع المسؤولون في القطاع العام من خلالها صنع القرارات ؛ حيث يكون المخرج في الغالب في شكل خرائطي لمواقع محتملة ذات رتب أو درجات معينة خاصة باستخدامات الأراضي. هذه النمذجة مفيدة، بالطبع - إلا أنها توضح فقط تطبيقاً محدوداً نوعاً ما لهذه التقنية. أما الغياب النسبي للنماذج الموصّفة القوية فيرجع، ربما، إلى كونها نماذج معقدة، وصعبة، وإلى طبيعتها التكراريّة، في معظم الأحوال. بالإضافة إلى ذلك، فالنماذج الموصّفة تتطلب، في كثير من الأحيان، تفاعلاً متكرراً، ومكثفاً، ومباشراً مع صانعي القرار، خلال عمليّة النمذجة. إلا أنه تم مؤخراً التطرق لهذا الجانب من جوانب نظم المعلومات الجغرافيّة في الأوساط البحثية لنظم المعلومات الجغرافيّة. ولعل هذا الفصل سوف يحفز بعض الجهود التعاونية بين الباحثين وصناع القرار الذين يستخدمون نظم المعلومات الجغرافيّة في أعمالهم.

التعارضات المكانيّة

تنشأ التعارضات المكانيّة في ظروف وسيناريوهات عديدة، لا سيما عندما تتداخل المطالب البشرية مع وظيفة الأرض الطبيعية، ولكن، أيضاً، عندما يقلل استخدام واحد بشري من قيمة أو ملاءمة الاستخدام الآخر. يشمل اختيار ممرات لخطوط الطاقة على العديد من هذه التداخلات في الاستعمالات البشرية - البشرية والبشرية - الطبيعية. فعندما يختار الواحد مواقع لهذه الممرات فإن هناك دائماً قطع كبيرة تقريباً من الأراضي التي يجب أن تُعبر للوصول من موقع إلى آخر ؛ إذ أن الجزء من الأرض المخصص لممرات الطاقة من المحتمل أن يتداخل مع شبكة المجاري المائية القائمة، ويخلق حداً بيئياً يشجع غزو وتكاثر بعض الفصائل الحافية (المهددة بالإنقراض) أو يستأصل الأنواع الداخلية الموجودة أصلاً، وفي بعض الأحيان، يتطلب الأمر تخصيص أراضي مملوكة بالفعل لآخرين لهذه الممرات من خلال نزع الملكيات، ومنع الاستخدامات الأخرى عن طريق تقسيم الأرض، وينطوي على ذلك العديد من التبعات والتساؤلات الأخرى.

لقد رأينا بالفعل في المناطق الحضريّة والضواحي احتمالات التعارض بين الاستخدامات الزراعية وغير الزراعية. كما أظهر نموذج ليسا بنظام المعلومات الجغرافيّة لنا مجموعة واسعة من عوامل تقسيم المناطق، والعوامل

المتصلة بالنواحي الجمالية، والتوافق، وعوامل البنية التحتيّة التي يجب أخذها في الاعتبار بهدف التكيّف مع التوسّع في المناطق الحضريّة ونمو المؤسسات التجارية والصناعية داخل المناطق الزراعية. لكن الأنشطة الضرورية التي لا تبدو ملاءمة، في كثير من الأحيان، مثل التعدين السطحي، ووضع أو إقامة أبراج الهاتف، وبناء السدود وإنشاءات تحويل المياه تبيّن إن إمكانيّة تغيير استخدامات الأراضي القائمة أمرٌ وارد مع ما قد يحدث من تدهور في قيمة الممتلكات، وتقليص القيمة الجمالية للاستخدامات الأرضية الأخرى.

تشير جميع هذه الأمثلة إلى نوعين من أنواع تفاعل معايير اختيار المواقع مع بعضها، كل واحدة منها لا بد من معالجتها. وأول هذه، ويشار إليها بمعايير الموقع، تتناول في المقام الأول الأثر المباشر على الموقع الفعلي الذي يُراد تغيير استخدامه الأرضي. لقد فحصنا في نموذج ليسا بعض عوامل الموقع هذه عندما حاولنا تقييم مدى صلاحية الزراعة مقابل الاستخدامات غير الزراعية بناءً، على سبيل المثال، على حجم قطعة الأرض، والأنظمة الحالية لتقسيم الأرض، وبعدها أو قربها من منطقة الفيضان.

أما المجموعة الثانية من معايير تحديد المواقع فتسمى بمعايير الوضع أو الحالة الراهنة وتتناول أثر تغير الاستخدام على المنطقة المحيطة بها. وبعبارة أخرى، هذه المعايير من الأنسب أن يُطلق عليها معايير الجوار. وكما سترى في وقت لاحق من هذا الفصل، فإن معايير الحالة لا يمكن تحديدها بسهولة لأنها لا تتعامل في الغالب مع الآثار خارج الموقع ولكنها تتطلب منا، أيضاً، أن نكون على علم مسبق بالاستخدام الأرضي للموقع وبأثره المحتمل على المنطقة المحيطة به (الحالة الراهنة).

وعلاوة على ذلك، فإن دراسة عوامل الحالة لاستخدام ما للأرض لا يكفي، بل لدينا اثنان من العوامل الهامة الأخرى اللذان يحتاجان إلى معالجة، فالأول هو تحديد المسافة الممكنة لمنطقة التأثير من الموقع. ولقد تم تطبيق مسافات عشوائية أو متوسطة لمثل هذه الآثار -كما رأينا في نموذج ليسا بنظم المعلومات الجغرافيّة - حيث اُعتبرت المسافة في حدود (١) ميل و (٠،٥) ميلاً. عادةً ما يكون تعيين هاتين المسافتين تعييناً متحفظاً جداً ولكن تم اختيارهما على أساس قرارات عشوائية يتحكم فيها نظام قياسنا إلى حد كبير. ففي أوروبا، على سبيل المثال، نجد أن مسافتي (١) كيلومتر و(٠،٥) كيلومتراً قد يكونان شائعين تماماً مثل مسافتي (١) ميل و (٠،٥) ميلاً في الولايات المتحدة الأمريكية. أما الاعتبار الثاني المهم في فحص معايير الحالة فهو أن يُحدّد التأثير الحاصل بشكل صريح. نحتاج أن نحدّد، وذلك لكل تحويل محتمل للاستخدام الأرضي، مخاوفنا، سواء كان ذلك من التأثيرات الخارجية على شبكة المجاري المائية الطبيعية، أو على الحياة البرية، أو على قيمة الأرض، أو على أي شيء آخر. وبالرغم من أن هذه الاعتبارات يمكن أن تنطبق نفسها تماماً بسهولة على معايير الموقع - إلا أن تحديد آثارها، عادةً، ما يكون أكثر صعوبة، ونتائجها المكانيّة واسعة النطاق بشكل أكبر، وحدوثها أكثر شيوعاً.

من الواضح أنه في ظل وجود مجموعة لا نهائيّة تقريباً من مختلف أنواع الاستخدام الأرضي - ناهيك عن وجود مجموعة أكبر من الآثار المحتملة على الموقع وحالته - فإن القيام بعمليّة تخصيص وتغيير هذه الاستخدامات تصبح مهمة شاقة. ومن الضروري، في كثير من الأحيان، وضع قيود لكل من أنواع الاستخدامات وآثارها المحتملة على حد سواء قبل إجراء مثل هذا التخصيص أو التغيير، لا سيما إذا كان الهدف معالجتها كلها دفعةً واحدة. والخطوة الأولى هي وضع قائمة بتلك الاستخدامات الممكنة التي ينبغي النظر فيها فقط. وعلى كل حال، ليس كل استخدامات الأراضي متشابهة أو حتى قابلة للتحويل أو التغيير لأي موقع معين أو حالة. فنحن نجد، على سبيل المثال، أن زراعة الأرز في بيئة صحراوية ليست محاولة مفيدة المسعى. يتميز كل إقليم معين من العالم، في الغالب، بأن لديه عدد محدود من الاستخدامات الأرضية ومجموعة صغيرة يمكن أن تكون صالحة الاستخدام في منطقة معينة من العالم. ومتى ما حُدّدت الاستخدامات الممكنة، فإنه يجب، أيضاً، النظر في القائمة الثانية من المعايير البيئيّة، فكل منها ذو صلة ببعض من الفئات العامة مثل الجدوى الاقتصادية، والنواحي الجمالية، وموائل الحياة البرية. ويمكن -بعد ذلك - أن تُفصّل هذه إلى خصائص أصغر، قابلة للقياس الكمي، وقابلة للتمثيل الخرائطي متى ما كان ذلك ممكناً. عندما تكون كل من هذه المستويات متوفرة، يمكننا أن نشرع في تنفيذ مهمة النمذجة الوصفيّة لتحديد المواقع البديلة لكل استخدام أرضي تحت كل فئة من فئات المعايير البيئيّة العامة.

توليد البدائل

لقد رأينا في وقت سابق مع نموذج ليسا أن نظم المعلومات الجغرافيّة قادرة على توليد استخدامات أرضية بديلة لقاعدة الموارد الأرضية من خلال تقييم كل قطعة أرض على أساس قدرتها (قدرة موارد الأرض لدعم الاستخدام) أو حتى ملائمتها (مدى ملاءمة الاستخدام لطائفة واسعة من عوامل ومعايير التخطيط). وكما هو الحال مع نموذج ليسا المعتمد، فقانون إدارة الغابات الوطنية (NFMA) لسنة ١٩٧٦م يتطلب استخدام نماذج للتخطيط لدمج التخطيط في إدارة موارد الأراضي (Iverson, 1986). والأهم من ذلك، أن القانون يجمع بين المعايير وقانون السياسة الوطنية للبيئة لسنة ١٩٦٩م الذي يتطلب أن يستوعب التخطيط في إطاره الاستخدام المتعدد والتحليل البيئي. ولقد كانت النتيجة من ذلك في شكل نموذج سُمي بنموذج التخطيط الوطني للغابات (FORPLAN)، وهو نموذج برمجي خطي صُمم لمعالجة هذه الاحتياجات. وعلى الرغم من أن منهجيته هي منهجيّة نظم معلومات جغرافيّة بالمعنى الدقيق للكلمة - إلا أن عناصره مشابهة لتلك التي قد يستخدمها الواحد في عمليّة صنع القرار متعدد المعايير، لا سيما في حالة تعارض استخدامات الأراضي. والأهم من ذلك، فهو يظل نموذجاً يمكن أن يُوظف مكانياً بشكل صريح من خلال استخدام نظام المعلومات الجغرافيّة (Carver, 1991).

إن الفكرة، هنا، هي توليد قيود على استخدام الأرض لاستخدامات أرضية معينة - مثلما رأينا ذلك بدرجة كبيرة في نموذجنا الوصفي لعوامل تقييم الموقع في نموذج ليسا الخاص بمقاطعة دوغلاس. وخلافاً لمثال نموذج ليسا، الذي كنا نهتم، على أي حال، في المقام الأول بالاستخدامات الزراعية مقابل الاستخدامات غير الزراعية - حيث إننا كثيراً ما تعاملنا مع الاستخدامات غير الزراعية على أنها كلها متشابهة - فإن فكرة توليد البدائل لكل نوع من الاستخدام الممكن للأرض تعد في هذه الحالة أكثر صراحةً ووضوحاً. ومن الناحية المثالية، كل نوع محتمل من الاستخدام الأرضي يتم تحليله على أساس قدرته على تلبية مجموعة من المعايير، والتي يمكن أن تكون بوليانية (منطقيّة)، أو يمكن وزنتها (ترجيحها) - كما رأينا في مثال نموذج ليسا.

أما نتائج نمذجة القيود فهي، في الغالب، تكون في شكل مجموعة من الخرائط التي تبيّن المناطق التي لا يمكن أن تدعم استخدامات معينة للأراضي (لا سيما عند استخدام المنهجيّة البوليانية)، أو تبيّن ترتيباً للمناطق المحتملة لكل نوع من أنواع الاستخدام الأرضي. وعليه، فإن هذه الخرائط لا تقدر بثمن، باعتبارها أداةً لصنع القرار؛ فهي توفر مجموعة من الحلول الممكنة لتخصيص الاستخدام الأرضي، ومجموعة من البدائل. وكأساس للمناقشة، فهذه الخرائط توضح بجلاء أين توجد القيود على الأرض؛ ومن ثمّ منع استخدامات معينة. ومع ذلك، فإذا كان لأحد أن يطابق هذه الخرائط، فإنه سرعان ما يكون واضحاً أن العديد من استخدامات الأرض تعتبر بالفعل قابلة للحياة والنمو في بعض المناطق لأي إقليم. فمن الممكن جداً أن تدعم التربة المستوية والخصبة، على سبيل المثال، أي نوع من أنواع الاستخدام الأرضي تقريباً. وعلى الرغم من أننا يمكن - كما رأينا في وقت سابق - أن نشدد القيود، ممّا يضع بعض القيود على بعض الاستخدامات - إلا أنه ما زال يتعيّن علينا أن ننظر في قضية تنافس الاستخدام لبعض قطع الأراضي. وباختصار، نحن لم نقدم بعد التخصيصات الأرضية المثلى لصناع القرار.

نموذج أورفيوس لتخصيص الاستخدام الأرضي

لقد حدّدنا في الفصول السابقة الاختلافات بين النمذجة الوصفيّة والموصّفة باستخدام نظم المعلومات الجغرافيّة؛ فالنموذج الموصّف يتجاوز وصف ما هو موجود أو حتى ما يمكن أن يوجد، لينتقل أكثر إلى أسئلة مرتبطة بصنع القرار تتعلق بماذا يجب وضعه في المكان وأين. إن النموذج الموصّف معني في الأساس بتخصيص استخدامات خاصة لكل قطعة من قطع الأراضي لتحقيق أفضل حل ممكن. وفي معظم الأحيان، يحدث أن هناك كثير من الاستخدامات يمكن أن تكون - في وقت واحد - مناسبة في قطعة أرض معينة، وفي مثل هذه الحالات، يصبح نظام المعلومات الجغرافيّة أكثر من مجرد وسيلة لعرض البدائل. ومن بين أفضل المنهجيات لتسوية التعارضات، المنهجيّة التكراريّة التي طوّرها توملن وجونستون (١٩٩١م).

لقد صُمم مشروع أورفيوس (Orpheus) خصيصاً لتسهيل عمليّة تخصيص الاستخدام الأرضي، أكثر من مجرد عرض القيود وبدائل استخدام الأرض. لقد رأينا أثناء مناقشتنا لنموذج ليسا أن أحد المعايير كان مدى توافق الاستخدام المقترح مع المخطط الرئيس (الشامل). وهذا هو بالتحديد نوع المخطط الرئيس الذي صُمم هذا المشروع لأجله. فباستخدام منطقة دراسة تقدر مساحتها بـ (٣٥) ميل مربع تبعد عن شيكاغو (٥٠) ميلاً نحو الغرب، أجرى واضعو المشروع سلسلةً من التحويلات الخرائطيّة وجمع ما هو موجود من بيانات الأساس، فانتقل نموذج تخصيص الاستخدام الأرضي، هنا، من معايير اختيار الموقع ورسم خرائط للقيود - كما رأينا في وقت سابق- إلى مخطط رئيس مكتمل.

العنصر الوصفي

تبدأ منهجية أورفيوس - وكما هو الحال تقريباً مع جميع النماذج الموصّفة - مع عنصر وصفي يهدف إلى توضيح إمكانيّة كل استخدام منْ استخدامات الأرض الستة عشر (١٦) داخل الموقع والتي تشمل: الحماية؛ والزراعة؛ والغابات؛ والتعدين؛ والمناطق الحضريّة والترفيهية؛ وإمدادات المياه؛ والتخلص من النفايات الصلبة؛ والمكاتب المهنية؛ والتصنيع وأسواق التجزئة؛ والمؤسسات الدينية؛ والإسكان؛ والطرق؛ والمقابر؛ ومجمعات البحوث والتطوير (Tomlin and Johnston, 1991). يمثّل كل نموذج فرعي وصفي لكل قطعة أرض القيود المفروضة على كل هذه الأنواع من الاستخدامات الستة عشر، حيث تصف كيف أن بعض الخصائص البيئيّة لكل من الموقع (نفسه) والموقع القريب منه (الحالة) -مثل تكاليف الإنتاج أو المحافظة على الخصائص التاريخية - تعكس الظروف القائمة، مثل خصائص التربة أو التركيب السكاني، أو أنه يمكن إيجاد هذه الظروف، وذلك في ظل الاستخدام المقترح. فالفكرة هي أن يؤخذ في الاعتبار عدة حسابات؛ ذلك أنه قد يكون لكل منها تأثير على الموقع نفسه أو ما يجاوره (الحالة) (Brown, et al., 1994).

وكمثال على ذلك، يقترح واضعو المشروع نموذجاً فرعياً لاختيار مواقع للإسكان حيث يكون الاهتمام البيئي الرئيس متعلقاً بتأثيره على نوعية الحياة البرية. يحدّد النموذج الفرعي الوصفي معايير اختيار المواقع عن طريق توضيح العلاقات بين السبب والنتيجة أو الأثر لكل من الإنشاءات السكنية وموائل الحياة البرية. وكما هو الحال بالنسبة لجميع النماذج الفرعيّة الوصفيّة الأخرى في نظم المعلومات الجغرافيّة، يفحص هذا النموذج معاير اختيار الموقع المتعلقة بالاستخدام الأرضي المقترح والظروف القائمة حالياً في الموقع. وبالإضافة إلى ذلك، يصف كل نموذج معايير الحالة من خلال ربط التفاعل المحتمل للاستخدام المقترح بالحالات التي من المحتمل أن توجد بالقرب من الموقع نتيجةً للاستخدام الأرضي المخصص.

لقد اقترح واضعو المشروع فيما يخص معايير اختيار مواقع سكنية جديدة، على سبيل المثال، أن أحد العلاقات الرئيسة المعنية بالسبب والنتيجة هي أن المنزل الجديد داخل الغابات يؤدي إلى تدهور موائل الحياة البرية

أكثر من ذلك المنزل المبني على أرض مفتوحة بعيدة عن الغابات. هذا النوع من المعايير، معايير الموقع مرة أخرى، ينتج منه قائمةً مرتبةً من درجات الملاءمة لكل استخدام أرضي مقترح، مثل الإنشاءات السكنية. كانت معايير الموقع، في هذه الحالة، مستنبطة من خلال توظيف مجموعة من القواعد التي تم الحصول عليها من خلال الاستبانات هدفها تلمُّس رأي الخبراء حول ما هي العوامل الهامة، وكيف كانت هامة، وما مدى أهمية كل منها من حيث التكاليف، والآثار البيئيّة، وفعالية استخدام الأرض (انظر الفصل السادس).

أما معايير الحالة الخاصة بتطوير منطقة سكنية فهي مختلفة نوعاً ما؛ ذلك أنها قد تشير إلى أن منزلاً جديداً معزولاً يقلّل من نوعية الموائل أكثر ممّا يفعله منزلاً جديداً بُني في مناطق مجاورة للمنازل الأخرى. وبعبارة أخرى، يكون للمنازل المنفردة تأثيراً أقل على الموائل المحيطة بها مقارنةً بتأثير منطقة سكنية كاملة. ولأن هذه الحالة وغيرها من معايير الحالة غالباً ما يكون لها تأثيرات، فإنه لا يمكن أن يُعبر عنها في البداية على أنها خرائط للملاءمة أو الأفضلية. وبدلاً من ذلك، سوف تُعتبر، في الحالة الأولى، مجموعة من المعايير أو القواعد للخرائط اللاحقة التي سوف تُنتج متى ما توفرت الاستخدامات المقترحة للأراضي. هذه القواعد، المطبقّة على العوامل الظرفية أو الحالية، تستلزم، أيضاً، تطوير قواعد أو شروط للمسافة، وذلك بالتشاور مع الخبراء، التي يمكن أن ينتج منها خرائط لإستخدام الأرض خاصة بالقرب (Proximity) تبيّن مدى الملاءمة على أساس حد أدنى وحد أقصى للمسافة. وإذا استعرضت عوامل نموذج ليسا فإنك سترى نفس الأنواع من مقاييس المسافة موجودة فعلاً، لكنها ليست محصورة أو مخصصة لكل نوع محتمل من أنواع الاستخدام الأرضي.

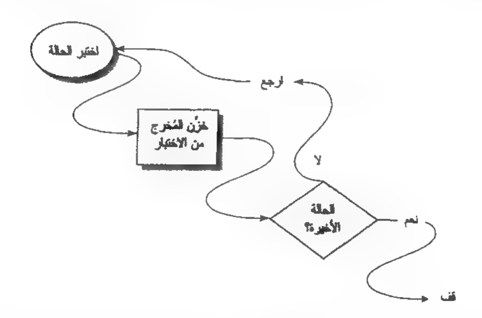
يمكن أن ينتج عن النمذجة الوصفيّة ما مجموعه (١٦) خريطة ملاءمة، واحدة لكل استخدام أرضي مقترح. كل واحدة من هذه الخرائط هي نموذج وصفي، وتتألف كل واحدة من جزئين على الأقل: خريطة ملاءمة للموقع (Site suitability map) وخريطة ملاءمة للحالة (Situation suitability map). وكل خريطة تقوم على مجموعة واسعة من المعايير ومتغيرات صنع القرار الممكنة. لقد كانت هذه أعمال تحضيرية لازمة للجزء الموصِّف من النمذجة عن طريق تحديد طبيعة وتركيب مشكلة التخصيص الأرضي للاستخدام.

العنصر الموصِّف

يهدف الجزء الموصِّف في نموذج التخصيص إلى توليد جزء من الحل بطريقة تكراريّة (معاودة) لمشكلة التخصيص الأرضي. هو إلى حد ما شبيه بالأمثلة (تحسين) الرياضيّة وبعض الأساليب الموجودة في بحوث العمليات، والغرض من ذلك هو تحقيق اهداف التخصيص الفردية، بأكبر قدر ممكن. وفي مجال النموذج الخلوي، يمكن للمرء أن يرى كل عمليّة معاودَة على أنها حركات أو نقلات فردية في الشطرنج أو لعبة الثمانيات أو مشكلة برج هانوي. ويمكن القياس على ذلك، أيضاً، بحركات حل لغز مكعبات روبيك، وفي كل من هذه الحالات، يحاول الواحد أن يحل جزءاً من اللغز، وما إن يتم تنفيذ كل خطوة حتى يبدأ اللغز بالتغير من حالة إلى حالة أخرى ليتطلب اللغز عندئذ إنتاج سيناريوهات جديدة.

وكما قد يتصور المرء، فإن التبديلات والتوليفات لا نهاية لها تقريباً؛ ومع ذلك، ففي كل مرة تتم دراسة سيناريو معين، يمكن أن نعلّق شكوكنا لفترة – حسب الحاجة – ونفترض أن أنواعاً معينة من استخدامات الأرض موجودة فعلاً أو ستوجد. وهكذا، فإن دورتنا (معاودتنا) اللاحقة تأخذ مجراها مع هذا الافتراض (الشكل رقم ٨,١). وحتى في ظل هذه الظروف، لا يمكن، على أي حال، أن يحصل توافق تام يلبي غالباً كل الاستخدامات الممكنة للأراضي وكل الظروف المحتملة للاستخدامات الأرضية. ومع ذلك، فإنه من المرجح أن هناك درجة من الاستقرار للنموذج سوف تتحقق لتلبي معظم استخدامات الأراضي ومعظم القيود البيئيّة، وعند هذه النقطة يمكن أن تتوقف عمليّة النمذجة.

ليس من السهل تحديد نقطة التوقف المناسبة، إذ سوف تتطلب، بالضرورة، قدراً كبيراً ومستمراً من المُدخلات من جانب أصحاب المصلحة لكل نوع من أنواع استخدام الأرض، بما في ذلك الأنواع غير البشرية مثل موائل الحياة الفطرية. وفي كلا الجزئين، الوصفي والموصِّف، من النمذجة لمشكلة تخصيص الأراضي، لابد من إيجاد سبل للتوصل إلى حلول مقبولة لدى المشاركين في عمليّة النمذجة. وبالرغم من أن الكتابات والبحوث حول حل التعارضات المكانيّة ليست متينة –إلا إنه تم تطبيق عدد محدود من التقنيات المألوفة، وسوف نناقشها الآن.



الشكل رقم (٨,١). مخطط سير عمل يبيّن كيف أن المنهج التفاعلي يمكن تطبيقه في ظروف أو حالات معينة في النماذج المعقدة. كل حالة جديدة تُختبر حتى تنفد كل الحالات.

بناء الإجماع

إن من بين أكثر التقنيات سهولة لحل التعارضات، تقنية أو فكرة بناء الإجماع أو التوافق في الآراء. فهي وسيلة للوصول إلى اتفاق عام على المصطلحات، والشروط، والقيود. وأفضل بداية لبناء الإجماع تكون أثناء مرحلة النمذجة الوصفيّة ليستمر طيلة عمليّة النمذجة، خصوصا في مرحلة عمليات التخصيصات المعاودة نفسها. يمكن أن تكون عمليّة بناء الإجماع غير منظمة نسبياً، لكنها من الناحية المثالية ينبغي أن تشمل - بقدر الإمكان - مُخرجات خرائطيّة خاصة بكل سيناريو وذلك لكل معيار من معايير التخصيص. وعلى الرغم من أن ذلك قد يتطلب قدراً لا يستهان به من الوقت، فإنه من الأنسب أن يتم التعامل مع كل مشكلة تظهر من مشكلات تخصيص الأراضي والتعارضات على نحو مشكلة واحدة في كل مرة؛ وذلك لتجنب الاضطرار إلى تفصيل مكونات النموذج بعد اكتمال أجزاء كبيرة منه.

ولعل أكثر المنهجيات تنظيماً، والتي من المرجح أن تشمل مُخرجات خرائطية عند كل مرحلة تخصيص مهمة، تقنية دلفي (Delphi) التي طورتها شركة راند والتي أصبحت الآن تقنية شائعة ومجربة كثيراً. وحتى وإن لم يكن تطبيق هذه التقنية شائعاً في تخصيص الأراضي، لا سيما في ظل وجود أهداف متعددة - إلا أنها اُستخدمت بنجاح في ظل هذه الظروف (DeMers 1985).

التقنيات الهرميّة

إن الوزننة (Weighting) وإعادة الوزننة لمتغيرات العوامل هي تقنية (طريقة) لبناء توافق في الآراء والتي أظهرت كفاءة واعدة في عمليّة التخصيص الأرضي (Davis, 1981; Ive and Cocks, 1983, 1989). تتيح الأوزان المُسندة للمطالب (الاحتياجات) المتضاربة بأن توضع في شكل من أشكال التسلسل الهرمي والذي يمكن في إطاره صنع القرارات. هذا أسلوب لا يختلف عن الفكرة الأصلية لإسناد الأوزان في نموذج ليسا - التي رأيناها من قبل. لكن بخلاف نموذج ليسا، تتم عمليتي الوزننة وإعادة الوزننة كعمليّة تكراريّة معاوِدة يستطيع بموجبها صانعو القرار تحديد درجة الأهمية للعوامل الفردية والآثار المحتملة متى ما ظهرت. وكما هو الحال مع التقنيات أو الطرائق الأخرى التي نوقشت من قبل، فإن تطبيق هذه المنهجيات أثناء تطوير الجزء الوصفي من النموذج يعد أمراً مرغوباً للغاية.

وبدلاً من عمل قرارات بوليانية (ثنائية) متعلقة بدرجة القبول أو عدمه لعوامل بيئية أو استخدامات أرضية معينة، تتيح التقنيات الهرميّة التوصل إلى حل وسط. ورغم أن هذا النهج ليس بالضرورة نهجاً منظماً - إلا أن النتيجة هي أن كل واحد من أصحاب المصلحة تُتاح له فرصة الأخذ والرد، حيث يمكن، على سبيل المثال، أن يسند مشارك (صاحب مصلحة) أوزاناً أقل لمجموعة واحدة من القيود البيئيّة لسيناريو معين لاستخدام الأرض، بافتراض أن القيود أو الشروط البيئيّة الأخرى سيُخصص لها أوزاناً أعلى في ظل ظروف مختلفة، وسيُطلب من أصحاب المصلحة المتنافسين خفض أولوياتهم حسب السيناريو الأخير.

تعد طريقة المقارنة الثنائية أو الزوجية (Pairwise) بين الظروف البيئيّة في إطار سيناريوهات مختلفة إحدى الطرائق للتعامل مع تعقيد وتفاعلات العوامل التي تؤدي، في كثير من الأحيان، إلى التعارض المكاني. وفي وقت مبكر يصل إلى عام ١٩٧٧م، أوصى هوبكنز (Hopkins) بتقنية هجين (مركّبة) جمع فيها بين العوامل (Factors) بطريقة خطّيّة أو غير خطّيّة حسب قواعد ضم (جمع) معينة. وقد أوصى كل من لايل واستوتز (Lyle and Stutz, 1983) بمنهجيّة المصفوفة المتدرجة - وهي هرمية أيضاً - لفصل كل عامل من عوامل الاستخدام الأرضي لتصبح في النهاية مجموعة عوامل سببية. إلا أن العوائق الكبيرة لهذه المنهجيّة اشتملت على تبسيط مفرط وعدم فهم للتغذية المرتجعة (Feedback) وللتفاعلات أو التداخلات بين العوامل. ثمة منهجيّة واحدة واعدة من أدبيات ومراجع تقنية التنبؤ تم إدراجها في تخطيط استخدام الأرض ضمن إطار نظام المعلومات الجغرافيّة وهي استخدام نماذج المحاكاة، لكنها تتم خارج إطار نظام المعلومات الجغرافيّة نفسه وذلك قبل تطوير النموذج الوصفي (DeMers, 1985). تستخدم هذه التقنية نموذج المحاكاة الذي اقترحه كين (Kane, 1972) لعزل التأثيرات المحتملة لعامل واحد من عوامل استخدام الأرض (سواء كان عامل موقع أو حالة) على عوامل الاستخدام الأرضي الأخرى. تجمع هذه الطريقة بين تقنية دلفي (Delphi) بشيء من التعديل للحصول على رأي الخبراء في ضوء مقارانات مزدوجة (ثنائية) للعوامل حتى يمكن إدراجها في نموذج ليسا بنظم المعلومات الجغرافيّة. هدفت النتائج من ذلك، وإن كانت مشجعة. أن تكون موجهة للجزء الخاص بالنمذجة الوصفيّة لتخصيص الأرض، إلا أن هناك حاجة إلى اختبار احتمالية أن تكون هذه التقنيات أو ما شابهها مفيدة للجزء الموصّف من النموذج، خاصة في حالة الفحص المتكرر للعوامل البيئيّة وسيناريوهات استخدام الأرض.

التقنيات الإحصائيّة: تحليل المحتوى

بالرغم من أن أكثر المنهجيات شهرة لعزل العوامل الهامة وتحديد كيف يمكن معالجة الأهداف المتعددة في إطار نموذج موصّف بنظم المعلومات الجغرافيّة هي منهجيّة يدوية وتفاعليّة - إلا أننا رأينا أن هناك تقنيات مثل طريقة دلفي يمكن أن تساعدنا. وبواسطة ما تحقق من معالجة وترتيب للأعداد من خلال المناقشة، يمكن أن نبدأ بأتمتة بعض الأجزاء من العمليّة، عادةً، بقصد عمل النموذج الناتج أكثر موضوعيّة. وهناك عدد من التقنيات الإحصائيّة التي يمكن تطبيقها، للتأكد من المتغيرات ذات الصلة، وتحديد أهم المفاهيم داخل مجموعة من البيانات. وبعض هذه التقنيات مطبّقة بالفعل بشكل روتيني في مجال الاستشعار عن بعد. وعلى الرغم من أن تطبيق التقنيات الإحصائيّة للعامل وتحديد وزنه لا يُعدّ ممارسةً أو طريقةً قياسية أو متبعة، فضلا عن الاستعانة بها لحل التعارضات - إلا أنه يجدر النظر فيها بإيجاز من قبل أولئك الذين لديهم خلفية في مجال الإحصاء والذين قد يجدونها مفيدة. سوف أقترح طريقتين بسيطتين يمكن تطبيقهما بسهولة، وقد يكون لديك طرائق أخرى قد تنظر فيها بعد أن ترى إمكانيّة تطبيق هاتين الطريقتين.

تنطوي إحدى الطرائق – التي قد أقترحُها - على تطبيق تحليل المحتوى (المضمون) لكل من شقّيه النوعي والكمي. يفحص تحليل المحتوى، وذلك في أبسط أشكاله، الوثائق النصية في شكل رقمي (وثائق معالجة الكلمات أو النصوص). فمن خلال تجزئة بناء اللغة الأساسي، يحلل البرنامج أهم الكلمات الوصفيّة في البناء – وهي تقنية عادةً ما يطلق عليها بالإعراب. يقوم البرنامج – بعد ذلك – بتنفيذ طريقة واحدة أو أكثر من أساليب التحليل العنقودي الإحصائي أو تحليل العوامل الأولية على هذه الموصِّفات، لتحديد أيّ الكلمات التي استخدمها الناس الذين كتبوا النص والتي تتجه نحو التكتل إلى مجموعات وظيفية مماثلة، أو لتحديد أهمية بعض المفاهيم.

لنأخذ، على سبيل المثال، استخدام نموذج ليسا كنقطة انطلاق. فلنقل أن لدينا مخططون ومطورون لمقاطعة دوغلاس بولاية كانساس، قاموا بكتابة تقرير يبررون فيه حاجتهم لقطعة معينة من الأرض، سواء كان ذلك لاستخدام زراعي أو نشاط غير زراعي. وتم – بعد ذلك – قراءة كل النصوص (التبريرات)، كلٌّ على حدة. يستخدم البرنامج – بعدئذ – عدداً من التقنيات، وهذا يتوقف على البرنامج المختار، لتحليل الكلمات المشتركة، وتجميع كلمات متشابهة أو مشتركة في مجاميع، أو لتحديد أي العوامل التي بدت أكثر أهمية لكل مشارك. فقد نجد من ذلك أن مطوري الأرض يرون أن المسافة إلى حدود المدينة تحظى باهتمام خاص جداً لهم؛ بسبب قدرتهم على الوصول بسهولة إلى خدمات المدينة. وقد تكون هذه هي نفس العوامل التي تعد هامة للمخططين؛ لأنهم يرغبون بأن تكون الاستخدامات غير الزراعية قريبة من المدينة، ممّا يسمح للزراعة بأن تكون في مكان بعيد من المدينة. وعليه، فإن ما يمكن أن يبيّنه هذا هو مخرج محتمل واحد فقط يمكن أن يوفر أبعادا هامة لمناقشة مستفيضة، ويسمح بتوفير طريقة أكثر عقلانية لعمليّة اختيار العوامل التي ليست متاحة بسهولة لعمليّة الوزننة التي تعد أكثر أهمية من وجهة نظر كل المشاركين.

هناك أشكال كثيرة لتحليل المحتوى والعديد من حزم البرمجيات المتاحة لتطبيقه. وبدلاً من اقتراح أي منها، هنا، فإنني أوصي بالبحث في صفحة على الشبكة العالمية على العنوان التالي عن الحزم المتاحة، ومصادر شرائها، وأسعارها : www.gsu.edu/ ~ wwwcom/content. إن لكل من الطرائق النوعية والكمية قدرة على توفير معلومات مفيدة. بالإضافة إلى ذلك، يتطلب تطبيق البرمجيات من المشاركين دراسة احتياجاتهم باستقلالية. وعلاوة على ذلك، يفرض التطبيق على كل مشارك أن يحدّد أولويات احتياجاته دون ضغوط غير مبررة أو مفرطة. وأخيراً، فإن لهذه الطريقة وظيفة إضافية وهي التخلص من العاطفة في مرحلة واحدة على الأقل من عمليّة التفاوض، ممّا يسمح بتحقيق حل مشكلة التعارض. وعلى الرغم من أن هذه التقنيات، في الوقت الحالي، تُعتبر تقنيات تجريبيّة، كما أن هناك القليل من الدراسات التي تقترح تطبيقها – إلا أن أولئك المنمذجون الذين يبنون نظم نموذجية للواقع الحقيقي، خاصة ضمن بيئة أكاديمية، قد يجدون أن مثل هذه المنهجيّة تستحق الاختبار.

المثالية الهدبية المزاحة

ثمة طريقة ذات إمكانيّة قوية باعتبارها وسيلة أخرى للتعامل مع حل التعارض، وهي فكرة أخيرة تستحق الإشارة إليها هنا - ولو أنها في الحقيقة مازالت أكاديمية؛ طريقة تنطوي على تطبيق مفهوم المنطق الهدبي (Fuzzy logic). تختلف الأوساط الأكاديمية على نطاق واسع في الاهتمامات، سواء في المعرفة بالمجموعات الهدبية (Fuzzy sets) والمنطق الهدبي، أو القبول بها. اسمحوا لي أولا أن أبدد الأسطورة المألوفة القائلة: إن المجموعات الهدبية والمنطق الهدبي يقومان على منطق الاحتمالات. إنهما ليسا كذلك، بل هما امتداد للمنطق البولياني أو الهش التقليدي ونظرية المجموعات؛ حيث يسمح المنطق الهدبي بالتدرج بين "نعم" (١) و"لا" (٢). إنه في هذا التدرج الذي يحدث فيه معظم الخلط. إن المسافة بين (١) و (٠) ليست وظيفة احتمال؛ لأن وظيفة الاحتمال تفترض أو تأخذ شكل توزيع طبيعي وتقوم على أساس نظرية الحد المركزي. إذن، هي درجة لعضوية المجموعة، تُحدّد، في الغالب، من خلال تقديرات ضمن نطاق "نعم و"لا"، تبيّن أين ينطبق الجواب على أفضل وجه. وفي سياق نمذجتنا المكانيّة بنظم المعلومات الجغرافيّة، يمكن للمرء أن يستخدم درجة الأهمية كما هو الحال مع الدرجة التي قد يأخذها عامل من عوامل نموذج ليسا وذلك لكل فرد من الأفراد في مجموعة أو فريق مشارك في تطوير النمذجة الموصّفة. فقد يقول مطوِّر، عندما يُسأل بهذه الصيغة "هل المسافة إلى نظام شبكة التصريف الصحي المركزية أمر مهم لك؟"، إن ذلك مهم جداً. لكن كبديل لهذا السؤال، يمكننا أن نطلب من المشاركين أن يردوا على هذا النحو: "نعم (٠،٩)." وبهذه الطريقة، يقول المشارك إن الأمر ذو أهمية خاصة لأعماله؛ لهذا فهو يخصص قيمة (٠،٩) لعضوية المجموعة، والتي هي أقرب للقيمة المطلقة (١،٠) بقدر الإمكان دون حاجة لأن يقول إنها ضرورة مطلقة - أي نصّاً عاماً.

إذا كان بإمكانك تصور أن المشاركين في فريق عمل لنمذجة متعددة الأهداف بنظام المعلومات الجغرافيّة يقدمون جميعهم مثل هذه الردود، وإذا افترضت أن هناك بيئة رياضيّة قوية تمكنك من تحليل هذه الردود، فإنك بذلك قد اتخذت ما يلزم من خطوات لتحديد كيفيّة استخدام هذه الإجابات لحل التعارض. ولسوء الحظ -وكما هو الحال في معظم التعارضات - فإن أسباب التعارض ومستوياته ليست ثابتة بل تخضع لتغييرات في مستويات التسامح أو التنازل، والأهداف، وتفاعلات المشاركين بعضهم مع بعض، وهي التي أدت بـ: يي ليونغ (Yee Leung, 1988) أن يشير إلى أن استخدام طريقة لتحديد هدف غير ساكن من خلال تطبيق المنطق الهدبي يمكن أن يوفر أساساً لحل التعارض. هذا الهدف المتحرك، الذي يصفه بـ "الهدبية المثالية المزاحة" (Displaced Fuzzy Ideal)، قد جُرِّب في تطوير هيكل نظم خبيرة مصمم للاستخدام في نظم المعلومات الجغرافيّة (Leung and Leung, 1993). وعلى الرغم من أن هذه التقنية ليست متاحة تجارياً، على حد علمي إلا أنها قد تكون أداةً مفيدة في المستقبل، وقد تشير إلى الحاجة لمزيد من التجارب من قبل المنمذجين المتقدمين في نظم المعلومات الجغرافيّة، لا سيما في البيئة الأكاديمية.

مراجعة الفصل

إن من بين أصعب أنواع التعارضات المطلوب حلها هي تلك التي تنطوي على تصاميم متعددة الأهداف على قاعدة محدودة من الموارد. يعد نظام المعلومات الجغرافيّة أداةً مفيدة لدراسة هذه التعارضات المحتملة من خلال السماح للمنمذج بتوليد بدائل، ودراسة تأثير السيناريوهات المحتمل على أجزاء أخرى من منطقة الدراسة. وهذا النهج معمول به في الغالب في تطوير أو بناء نماذج موصَّفة في إطار متعدد الأهداف. هناك إطار عام قابل للتطبيق بسهولة لدراسة المطالب المتضاربة والتكيّف معها يُسمى بنموذج أورفيوس لاستخدام الأراضي وتخصيصها. وفي إطار هذه الطريقة، يبدأ الواحد بإنشاء نموذج وصفي تُبنى على أساسه السيناريوهات. لابد أن يكون للنموذج الوصفي قدرة على وصف درجة الإمتثال أو التوافق لمجموعتين أساسيتين مختلفتين من العوامل البيئة: الموقع والحالة. فالعوامل الخاصة بالموقع هي تلك التي تؤثّر تأثيراً مباشراً على الجزء أو القطعة من الأرض قيد التقييم. أما عوامل الحالة فهي تلك العوامل التي هي، في معظم الأحيان، عوامل متعلقة بما هو خارج الموقع، بما فيها قطع الأراضي المتجاورة، وتتطلب، في الغالب، بناء سيناريو.

إن بناء السيناريو هو الجزء الموصَّف من النموذج، وقد يتطلب أن تتم دراسة كل حالة محتملة، أو نمذجتها على حدة. ومتى ما دُرست وفحصت كل السيناريوهات، وقُدِّرت آثارها، وحُلّت التعارضات المكانيّة، من خلال المناقشة مع المشاركين في عمليّة بناء النموذج، فإن النموذج النهائي بهذه الحالة يمكن أن يكون مكتملاً. وتشير طريقة أورفيوس إلى أنه من خلال عرض نتائج الحالات الفردية، فإن المناقشات بين المشاركين سوف ينتج منها حلاً لمعظم القضايا.

إن عمليّة حل التعارضات المكانيّة ليست مجرد عرضا للسيناريوهات، وعلى أي حال، هناك العديد من التقنيات التي اُقترحت لهذه العمليّة. وتعد عمليّة بناء التوافق أو الإجماع في الآراء من بين أكثر الطرائق شيوعاً في التطبيق والتجربة، وتشتمل على استخدام تقنية دلفي للحصول على وجهات نظر المشاركين. وكبديل لذلك، فإن الأساليب الهرميّة، مثل الوزننة وإعادة الوزننة، قد تم تطبيقها، أيضاً، بنجاح. أما التقنيات الإحصائيّة، لا سيما تلك التي تستخدم تحليل المحتوى النوعي والكمي للوثائق المقدمة من قبل المشاركين، فإنها يمكن أن توفر، أيضاً، معلومات مفيدة. وأخيراً، فإن تطبيق طريقة المثالية الهدبية المزاحة قد تكون طريقة واعدة في المستقبل، خاصة متى ما أصبحت نظم المعلومات الجغرافيّة القائمة على المعرفة أكثر شيوعاً.

مواضيع المناقشة

١ - ضع قائمة لعدد من أنواع تعارضات الاستخدام الأرضي مع وصفها والتي عادةً ما تتطلب شكلاً من أشكال حل التعارض المكاني. بيّن في قائمتك احتمالية أن تنطوي هذه التعارضات على نقل استخدام الأرض القائم إلى مكان آخر، أو تخفيض لأسعار الأراضي، أو تقليل من القيمة الجمالية، أو تبعات بيئيّة حاسمة.

٢- بين الفرق بين معايير الموقع ومعايير الحالة، وقدّم بعض الأمثلة الملموسة لكل منهما لبعض التعارضات التي ادرجتها في (١) أعلاه.

٣- ناقش دور النمذجة الوصفيّة في التحضير لنمذجة التخصيص الموصّفة بنظام المعلومات الجغرافيّة.

٤- اشرح دور النظام الفرعي الناتج من نظام المعلوات الجغرافيّة في توفير أدوات ضرورية لصانعي القرار لأداء عملهم؛ بيّن، أيضاً، أوجه القصور للمنهجيّة الوصفيّة لتخصيص الاستخدام الأرضي.

٥- يقدّم نموذج أورفيوس لتخصيص استخدام الأرض لصناع القرار منهجيّةً منظمةً للتعامل مع المطالب المتعارضة من خلال معالجة كل عامل من العوامل البيئيّة (سواء كان عامل موقع أو حالة) لكل نوع من أنواع الاستخدامات المقترحة للأرض. إلا أن قصوره يكمن في كونه لا يزال يتطلب مُدخلات بشرية لتوفير الحلول الفعليّة للتعارض المكاني. صِف بعضاً من التقنيات التي نوقشت في هذا الفصل التي يمكن أن تطبق لهذا الجزء من أورفيوس، ثم ناقش من وجهة نظرك الإيجابيات والسلبيات لكل منها.

٦- لا تزال الحلول لمشكلات تخصيص الأرض تعتمد على الخرائط، بغض النظر عن التقنية المستخدمة لحل التعارض. ناقش المشكلات المحتملة للتخصيص الأرضي عندما تكون الخرائط ذات النوعية الردئية جزءاً من عمليّة صنع القرار.

٧- ناقش دور الطرائق الهرميّة، مثل وزننة العامل، في حل التعارضات المكانيّة أو الحد منها ضمن مشكلة تخصيص الأراضي.

٨- ما الدور الذي يمكن أن يؤديه المنطق الهدبي في حل التعارضات المكانيّة ضمن نظم المعلومات الجغرافيّة القائمة على المعرفة؟

أنشطة تعليمية

١- هناك العديد من الحالات المتكررة - مثلما رأيت في هذا الفصل- التي يكون فيها التعارض، لا سيما المكاني منه، أمراً واقعاً يصعب تجاهله. كما أن أنواع الحالات التي يحدث فيها هذا لا حدود لها تقريباً، لذا فإننا سوف نقتصر على ما يبدو أنها حالة بسيطة جداً بحيث كل ما علينا هو أن نقوم بتكييف عدد من استخدامات الأراضي ضمن مقدار محدَّد من التربة المتوفرة، ولكل نوع منها خصائصه المحدّدة. هذا التمرين الخاص هو إلى حد ما نشاط تتويجي؛ لأنه يتضمن العديد من المواضيع التي تطرقنا لها، ليس فقط في هذا الفصل ولكن في معظم عمليّة النمذجة ذاتها بنظام المعلومات الجغرافيّة. وعليه، ينبغي أن تقضي بعض الوقت للتفكير في هذا التمرين وتنفيذه. ركّز ليس على الحل الفعلي للمشكلة فقط، بل بالأحرى على التقنيات التي تُطبق عليها.

أهداف النشاط التعليمي:

• وضع خطة لمنطقة مختارة غير مطورة في ضوء قيود للتربة تحد من استخدامات الأرض، وأيضاً، في ظل متطلبات خاصة بتخصيص المكان.

• بالنظر إلى قيود المكان والتربة وتعدد المطالب على استخدام الأرض، سيكون هناك مطالب متعارضة؛ حدّد منهجيّة لحل التعارضات التي قد تنشأ.

خلفية: سوف تضطلع بدور شريك صغير في شركة ديميرس الإستشارية لنظم المعلومات الجغرافيّة، شركة محدودة، وهناك شركة تطوير للمساكن قد طلبت أن تقوم شركة ديميرس بتحليل للإمكانات الإنمائية لموقع في مقاطعة دوغلاس، كانساس. تبلغ أطوال قطعة الأرض (٥٠ × ٦٠) خلية، كل خلية تساوي (٢،٥) فداناً، أي ما مجموعه (٧٥٠٠) هكتاراً من الأراضي. أستطاعت شركة التطوير هذه أن تضمن خيار الشراء لهذه الممتلكات. هم يطلبون التوزيع التالي للاستخدامات الأرضية على هذا النحو:

• ١٨٧٥ فدان – منازل أسرة واحدة بدون أقبية (ذات صبّات أسمنتية فوق الأرض).
• ٩٣٨ فدان – منازل أسرة واحدة ذات أقبية أرضية.
• ٩٣٧ فدان – مساكن من طابقين لأسر متعددة بدون أقبية.
• ٤٦٩ فدان – مساكن من ثلاثة طوابق لأسر متعددة ذات أقبية.
• ٤٧٨ فدان – بحيرة صرف صحي.
• ٩٣٨ فدان – مركز تسوق صغير (مبنى من دور واحد ذو صبّة أسمنتية مع موقف للسيارات).
• ٩٣٧ فدان – مدرسة، ومركز اجتماعي، قاعة احتفالات (جميع المبانئ من طابقين).
• ٩٣٨ فدان – حدائق وترفيه.

المنطقة لا تخدمها شبكة البلدية للصرف الصحي، لذا سوف يكون لبحيرة الصرف قدرة كافية لخدمة مركز التسوق وكل المباني متعددة الطوابق الأخرى. ينبغي أن تُبنى بحيرة الصرف الصحي ضمن ربع ميل من جميع المباني التي ستخدمها، لتوفير المال الذي يمكن صرفه على خطوط الصرف الصحي. عليك أن تهتم بالروائح الضارة المتولدة عن البحيرة وتأخذ في الاعتبار الرياح السائدة في هذا المكان. هناك قيود أخرى ينبغي عليك أن تأخذها في الاعتبار، أيضاً، وهي:

• كل منازل الأسرة الواحدة سوف تستخدم خزانات تعقيمية.
• لابد أن تكون بحيرة الصرف الصحي وكذا مركز التسوق على مساحات متصلة من الأرض.
• ينبغي أن يقع المركز التجاري على حافة الأرض المتصلة مباشرة مع الطريق السريع.
• سوف تتطلب جميع استخدامات الأراضي أن تكون التربة مناسبة لبناء الطرق، باستثناء الحدائق.

* يمكن تقسيم الحدائق وجميع المناطق السكنية إلى مساحات أو قطع أصغر حسب أي عدد ممكن.

* يمكن وضع المدارس والمركز الاجتماعي وقاعة الإحتفالات في قطع مختلفة، لكن كل منها يحتاج إلى حد أدنى من المساحة بمقدار (٢٠) فدان.

المشكلة: كونك استشاري صغير وذكي في شركة ديميرس، فإنك على الفور تقوم بالحصول على نسخة من تقرير مسح التربة لمقاطعة دوغلاس من مكتب خدمات المحافظة على التربة الخاص بدائرتك أو مقاطعتك. سوف تجد موقع المنطقة التي تريد شركة التطوير شرائها في الجزء الخلفي من الدراسة المسحية، (تخيل أنها بالصدفة كانت نفس المنطقة التي تحدثنا عنها في نموذج ليسا؛ أي مقاطعة دوغلاس). ستجد، أيضاً، أن الموقع قد مُثِّل في شكل طبقة خلوية موضوعيّة في برنامج المحلل المكاني في برنامج ArcView ضمن قاعدة بيانات نموذج ليسا الخاصة بك. المطلوب منك الآن أن تقتصر على استخدام هذا الموضوع الواحد فقط لحل المشكلة في هذا التمرين.

وبعد أن اطلعت على الموقع، عليك أن ترجع للدراسة المسحية لتحديد أنواع التربة في المنطقة وكيف ستؤثر على خطط تطوير الشركة المنفذة للمنازل. سوف تقرأ، بطبيعة الحال، عن كل أنواع التربة وتصبح بسرعة خبيرا بأنواع الترب في مقاطعة دوغلاس. وكونك الآن أصبحت خبيراً، فأنت سترجع الآن للجداول التي وضعها خبراء التربة في وزارة الزراعة في الولايات المتحدة من قبل، إذ ستجد أن لكل نوع من أنواع التربة قيمة مقدرة (تصنيف) حسب نوع أنشطة الاستخدام الأرضي. أما المعلومات المناسبة من هذه الجداول فقد تم استخلاصها لك أدناه، حيث تجد أن كل تربة قد أُعطيت تصنيفات إما "طفيف" وإما "معتدل" وإما "شديد". يعني التصنيف "طفيف" أن نشاط استخدام الأرض المطلوب يمكن تنفيذه مع قليل أو لا تعديل في الأرض. وإذا كانت التربة ذات تصنيف "شديد"، فإن هذا يعني ببساطة أن تقوم بتغيير الواقع (وهذا مستحيل تقريباً). ومع ذلك، لا تبالغ في القلق من إيجاد مناطق ذات تصنيف "طفيف"؛ فمع التكنولوجيا الحديثة، جميع الأمور ممكنة.

أثناء تناولك للمشكلة، سوف تحتاج إلى تحديد قيود التربة لكل نوع من أنواع استخدامات الأرض المقترحة وإعادة ترقيمها بشكل ملائم. قد تجد أن نوعاً معيناً من التربة يعد أنسب الأنواع لأكثر من استخدام أرضي. في حين أن بعض أنواع التربة سوف يلائم نوع واحد فقط من الاستخدام الأرضي؛ على سبيل المثال، تعد الترب الطميّة مناسبة للحدائق والترفيه فقط، وفي هذه الحالة، فإن مهمتك بسيطة ويمكنك تخصيص هذه المنطقة لإستخدام أرضي واحد. عندما يكون لديك أكثر من استخدام أرضي واحد ملائم لتربة معينة، عليك أن تضع استراتيجية لتقرير أيّاً منها يناسب الآخر. ولعل أحد الحلول أن تنظر إلى المشكلة المرتبطة بالتربة، فتحدد أي نوع من أنواع استخدامات الأرض الذي يمكن أن يكون أفضل من غيره من حيث ملائمته للتربة، فعلى سبيل المثال، إذا كان لديك أرض تناسب المنازل والملاعب على حد سواء (لنقل أن الأرض توصف بأنها ذات مشكلات معتدلة من حيث الفيضانات) فيمكنك عندئذ أن تختار الموقع ليكون ملعباً وليس سكناً؛ لأن الفيضانات لن تكون تهديداً حرجاً بذات الدرجة للملعب.

سوف تجد أنه لا توجد حلول مثالية لهذه المشكلة. فقد تكون منطقة واحدة مناسبة لبعض الأنشطة التطويرية أكثر من الأخرى، لكن العديد من المناطق سيكون لها بعض المشكلات التي يتعيّن الالتفاف عليها باستخدام تقنيات بناء مبتكرة أو من خلال تعديلات واسعة على المظهر الطبيعي الحالي للأرض في حالة إصرار مجلس إدارة شركة تطوير المنازل على تطوير هذه المنطقة. هذا ليس محل قلق بالنسبة لك، وكل الذي عليك هو مجرد الرفع بالتوصيات إلى مجلس إدارة هذه الشركة، ويمكن أن تدع ضميرك يؤنبك على طول الطريق وأنت متجه للبنك لإيداع رسوم الاستشارة الخاصة بك.

المواد اللازمة:

• موضوع واحد (١) خاص بالتربة في مقاطعة دوغلاس في قاعدة البيانات نموذج ليسا باستخدام برنامج ArcView (متاح على موقع وايلي على الإنترنت).

• جدول واحد (١) يبيّن قدرات التربة.

المنتجات المعلوماتية: مطلوب منك، كمُخرج من بحثك، أن تقدّم تقرير فريق مكتمل، يتضمن ما يلي:

١- ثمانية مخططات لسير العمل، مخطط واحد لكل استخدام من استخدامات الأرض.

٢- شرح مفصّل للعمليّة أو العمليات المطلوبة منك للتعامل مع التعارضات التي نشأت بين استخدامات الأراضي (على سبيل المثال، هل كان عليك أن تخفف القيود أو تشدّدها؟ أو أنك طلبت من المطورين إنفاق أموال للتغلب على المعوقات أو القيود القائمة؟ أو قمت ببناء توافق في الآراء؟). قد ترغب في الرجوع إلى ما كتبت من ملاحظات لمناقشة هذا البند.

٣- خريطة واحدة تبيّن نتائجك النهائيّة (نسخة مطبوعة أو قرص مرن).

٤- ولمنهجيّة أكثر صعوبة لحل التعارض، أعِد بناء نموذج ليسا باستخدام نفس قاعدة البيانات، لكن نفّذ العمل بنموذج موصّف، على أساس نموذج أورفيوس لتخصيص الأرض، لتخصيص كل من هذه الاستخدامات غير الزراعية التالية، لكنه في نفس الوقت يحاول أن يحافظ على أفضل الأراضي الزراعية لتكون مقصورة على الزراعة:

أ) منطقة سكنية.

ب) مباني المكاتب.

ج) مساحات خضراء (حدائق).

د) منطقة تجارية (مول).

الفصل التاسع

التحقق من دقة النموذج والتثبت من صلاحيته وقبوله
MODEL VERIFICATION, VALIDATION, AND ACCEPTABILITY

أهداف تعليميّة

يُفترض أن يكون الطالب قادراً بعد إكمال هذا الفصل وتعزيز محتوياته بقراءات خارجية، وبالبحث وبالممارسة العمليّة على عمل ما يلي:

١- تحديد الاختلافات بين تحليلات كل من التحقق من (Verification) دقة نموذج نظام المعلومات الجغرافيّة والتثبت من صلاحيته (تصديقه) (Validation) وقبوله.

٢- شرح كيفية عكس الإجراءات في نظام المعلومات الجغرافيّة لفحص إمكانية أن ينتج برنامج نظام المعلومات الجغرافيّة الإجابات المتوقعة منه.

٣- وصف استخدام نماذج أولية يدوياً لمناطق صغيرة لوضع مجموعة حلول نظم معلومات جغرافيّة صحيحة ضمن نموذج أكبر بنظام المعلومات الجغرافيّة.

٤- وصف بعض الأساليب الفعالة لتحديد الأداء الراقي والكفاءة التنفيذية النسبيين لنماذج متعددة لشيء واحد باستخدام نظم المعلومات الجغرافيّة (مقارنة زمن المعالجة الحاسوبية مع تميّز مخطط سير العمل).

٥- مناقشة كيفيّة التعامل مع البيانات المفقودة عندما يكون من الصعب تطبيق البدائل والحلول الأخرى للوصول للنتيجة النهائيّة.

٦- تحديد طرائق لمراجعة المنهجيات المنطقيّة أو الرياضيّة المستخدمة في نموذج معين لتحديد صلاحيته.

٧- إنشاء منهجيات مناسبة لدراسة خوارزميات محدّدة مستخدمة في نماذج نظم المعلومات الجغرافيّة لتحديد مدى جودة تمثيل النماذج للواقع.

٨- إنشاء منهجيات مناسبة لدراسة مستوى فهم العملاء (المستخدمون) للمُخرج من التحليل.

٩- إنشاء منهجيات وتنفيذها لتحديد درجة قبول العملاء أو قدرتهم في تطبيق النموذج لصنع القرار.

١٠- وصف التطبيقات الإحصائيّة والمكانيّة لتحديد صلاحية أو صحة نموذج نظام المعلومات الجغرافيّة المُخرج.

مقدمة

لقد توفر قدر كبير من البحث منذ الثمانينيات حول تقييم الصحة وقياسها في نظم المعلومات الجغرافيّة. هذا يكمّل تقليداً مستمراً في مثل هذا البحث في مجال الاستشعار عن بعد. ولقد تركز البحث، في معظم الحالات، في نظم المعلومات الجغرافيّة في المقام الأول على الصحة المتعلقة بالتغطيات والمواضيع الفردية، وعلى العمليات المتصلة بالمُدخلات، وحتى على تفاعلات الخرائط فيما بينها أثناء العمل أو التحليل. ورغم أن هذا أمر في غاية الأهمية وثمين جداً - إلا أنها تتجاهل، في الغالب، الجانب الأكثر أهمية من جوانب النمذجة بنظام المعلومات الجغرافيّة، ألا وهو الصحة والقبول الإجماليين للمخرج النهائي للنموذج. لقد بيّن المحترفون، مثل جنسن (٢٠٠٠) وللساند وكيفير (٢٠٠٠) وغيرهم الكثير في الاستشعار عن بعد بوضوح تام، أن الخطوة النهائيّة في عمليّة الاستشعار عن بعد ليست المخرج، وإنما شرح النتائج وقبولها من قبل العميل (المستخدم).

وبصفتنا منمذجي نظم معلومات جغرافيّة، فإنه من الضروري أن نتبنى وجهة النظر نفسها للمُخرج من نظم المعلومات الجغرافيّة. فالمخرج ما هو إلا صورة جميلة لا أقل ولا أكثر إذا لم تُظهِر هذه الصورة أن التنفيذات البرمجية تمت بشكل صحيح، أو أنها لم تمثّل العمليات البيئيّة قيد النمذجة بدرجة كبيرة كما هي في الواقع، أو أنها صورة لمنتج نهائي لا يفيد العميل ولا يقبله. إن مُخرجات نظم المعلومات الجغرافيّة هي، في الحقيقة، أكثر تنوعاً من تلك التي في نظم الاستشعار عن بعد، ويمكن أن تشمل أشكالاً غير خرائطية. سوف أقصر المناقشة في هذا الفصل على وسائل دعم القرار في الشكل الخرائطي التقليدي. وعلى الرغم من أن هناك ربما حاجة لمزيد من البحث المركّز على تقييم الأنواع البديلة من المُخرجات - إلا أن معظم تطبيقات ونماذج نظم المعلومات الجغرافيّة لا تزال تعتمد اعتماداً كبيراً على الإنتاج أو المخرج الخرائطي. ولعل هذه الصفحات تشجع على المزيد من البحث من هذا النوع لكل من المخرجين الخرائطي وغير الخرائطي. وفي الوقت نفسه، هذه الصفحات التالية لم يقصد منها أن تكون تفصيلية أو مراجعات بحثية مستفيضة، بل هي - إلى حد ما - قواعد عمليّة عامة يمكن تطبيقها في بيئات العالم الحقيقي.

تعريف المصطلحات

تهدف عمليّة النمذجة بنظم المعلومات الجغرافيّة إلى غايات نهائيّة تتمثّل في كل من نمذجة فعّالة للظواهر المكانيّة قيد الدراسة، واستفادة مباشرة من النتائج من قبل المستخدم. هاتان الغايتان هما جانبان مختلفان جذرياً. إن المصطلحات التي تُستخدم، في معظم الأحوال، في تحليل مخرج نظم المعلومات الجغرافيّة، هي التحقق من (Verification)، والتصديق أو المصادقة على (Validation)، والقبول (Acceptance). وبناءً على السياق الذي تم فيه تطبيق هذه المصطلحات والمرجع المعين الذي رجعت إليه في تعريفها (القاموس أو المرادفات، على سبيل المثال) فإنها كثيراً ما تُستخدم بنفس المعنى، تقريباً. إن إيراد تعريفات هذه المصطلحات، هنا، هو فقط لإنها ذات صلة بما

نريد أن نعرفه من المواضيع التي نبحث فيها. سوف أقدِّم - بعد ذلك - بعض التعاريف التي من خلالها نستطيع المضي قدماً في مناقشتنا، وبما يحقق أهدافنا. ولك الحرية في أن تطلق عليها ما تشاء فيما بعد. سوف نفرّق بين هذه المصطلحات في حديثنا باعتبارها مصطلحات مختلفة اختلافاً جوهرياً. وفي الوقت نفسه، سوف نفترض أن كل من التحقق والتصديق (التثبت من الصلاحية) هما جانبان اثنان للصحة الإجمالية للنموذج.

يتطلب التحقق من نموذج نظام معلومات جغرافيّة أن يتم تنفيذ طريقة ما للتأكد من أن عمليّة الحسابات للنص البرمجي للنموذج تمت بشكل صحيح حسب ما خطط لها في الخوارزميات أو البرمجيات في النظام وأنها تعمل بثبات مع نفس مجموعة البيانات. والسؤالان الجوهريان هما: هل كانت مُخرجات البرمجيات تصحح القيم العددية عند تطبيق النصوص البرمجية، وهل كانت هذه القيم متسقة من تطبيق إلى آخر على نفس مجموعة البيانات؟ وبالرغم من أننا نفترض عموماً أن برنامج الكمبيوتر الذي نستخدمه يقدِّم إجابات صحيحة على الأسئلة التي تُطرح عليه - إلا أن هذا ليس صحيحاً دائماً كما قد يظن المرء. ونظراً إلى أن خوارميات نظام المعلومات الجغرافيّة المبرمجة في النظام تعتمد على المنطق التقليدي والرياضيات وحساب التفاضل والتكامل، يجب علينا أن نبذل مزيداً من الافتراضات وهي أن المبرمج قد وظّف هذه العلوم بشكل صحيح وأنها سوف توفر نفس الجواب في بطريقة رقميّة كما لو أنها نُفذت بطريقة يدوية. فالعمليات مثل تحويل المعادلات التفاضلية إلى ما يماثلها من معدلات فروق جبرية، وخطأ تدوير الأرقام الناتج من تحويل الدقة الفردية إلى دقة مضاعفة، وترتيب الإجراءات الرياضيّة والمنطقيّة كلها تفضي بكل أسف إلى أثر سلبي محتمل متمثّلاً في جعل النتائج مختلفة - إلى حد ما - في ظل ظروف معينة. وضمن هذا السياق، يمكن أن تشمل عملية التحقق، أيضاً، تحليلاً ليس فقط لصحة الحسابات الرياضيّة بل، أيضاً، لمستوى دقتها (اتساق النتائج من تطبيقات متعددة لنفس مجموعة البيانات الواحدة). فإذا تمت مطابقة شبكتين موضوعيتين أكثر من مرة فإن النتائج يجب أن تكون متماثلة، وإذا عُمل تحليل حزمي (نطاقي) (Buffer) لمسافة تبعد (١) ميل من شبكة طرق عدة مرات، فإن تطبيق هذا النطاق أو الحزام المسافي لنفس قاعدة البيانات يجب أن يكون (١) ميل في كل مرة؛ وليس (١،١) ميلاً في المرة الأولى، و (١،٠) في المرة الثانية، و (٠،٩) ميلاً في المرة الثالثة.

أما المصادقة (التثبت من الصلاحية) فهي تُطبّق غالباً على قبول وجدوى النموذج، بوصفها أداةً لدعم القرار. غير أن العديد من القواميس تستخدم مصطلح المصادقة على أنها تعريف للتحقق. ولتفادي الخلط، سوف نستخدم مصطلح المصادقة كجانب مستقل لنفس السؤال. هذا السؤال هو ببساطة: هل النموذج صحيح؟ وفي هذه الحالة، الصحة ليست أمراً متعلقاً بالصحة الرياضيّة بقدر ما هو هل الخوارزميات تمثّل ما نريد أن ننمذجه في الواقع؟ وبكلمات أخرى، هل يقدم النموذج تمثيلاً معقولاً للعمليات والتفاعلات المكانيّة لظواهر العالم الحقيقي قيد البحث؟

وأخيراً، فالمقبولية، هنا، مستخدمة لتمثّل مقياساً لقبول النموذج، وجدواه النفعية، باعتباره أداةً لصنع القرار، هذا بالرغم من أنها مرتبطة عملياً بكل من التحقق والمصادقة. قد يكون النموذج صحيحاً في تحديده

للاستخدام الملائم للأرض، لكنه قد لا يكون مقبولاً من جانب المخططين المسؤولين عن استخدامه في أداء وظائفهم. ورغم أن النموذج الصحيح من الأرجح أن يكون مقبولاً – إلا أنه لا يمكن ضمان ذلك، بل على العكس من ذلك؛ فالنموذج غير الصحيح يمكن اعتباره مقبولاً لأنه يتفق أساساً مع تحيز المستخدم.

إن أكثر ما يهمنا كمنمذجين هو أن نشغل أنفسنا بالصحة (التحقق من دقة النموذج وصلاحيته) أكثر من مقبوليته. ومع ذلك، فإن المقبولية ما تزال مهمة إذا أردنا تحقيق متطلبات المستخدمين، وخاصة إذا كان هؤلاء المستخدمين هم أنفسنا. وفي هذا الصدد، فمقبولية النموذج ليست مسألة صحته، أو تكراريته، ولكنها تشمل، في الغالب، جوانب مثل سهولة استخدامه، وقابلية تطويره ليشمل مواقع أو بيئات أخرى، وفائدته كأداة لصنع القرار، وإمكانيّة فهمه، والمرونة في الاستخدام مع سيناريوهات مختلفة، بل والقدرة، أيضاً، على دمج المعارف الجديدة أو وحدات إضافية فيه، متى ما توفرت.

صحة النموذج

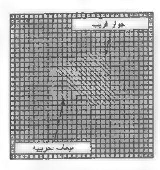
التحقق

اقترح توملين (١٩٩١م) أن العمليّة الأساسية للتحقق من النموذج هي تحديد الدقة الحسابيّة للخوارزميات المستخدمة. وتتطلب العمليّة، وعلى نحو يماثل عمليات الضرب للتحقق من قسمة طويلة، أن تعلم شيئين. أولاً: يجب أن تكون على دراية تامة بالكيفيّة التي يراد من الخوارزمية أو الخوارزميات أن تعمل في الواقع. وهذا ليس دائماً متاحاً بسهولة عندما تستخدم نظاماً محترفاً من نظم المعلومات الجغرافيّة؛ لأن العديد من الخوارزميات ذات ملكية خاصة. وثانياً، ينبغي أن تعرف، أيضاً، النتائج المتوقعة مسبقا. بالإضافة إلى ذلك فإن المشكلة يمكن أن تزداد حدتها مع المناطق الكبيرة جداً. ومع ذلك، فإن هناك حلول لهاتين المشكلتين.

لمشكلتنا الأولى، تلك المتعلقة بمعرفة قدرة النص البرمجي لنظم المعلومات الجغرافيّة على تنفيذ الخوارزميات بشكل صحيح، فإنه ليس من الضروري أن تقوم بفحص هذا أثناء عمليّة النمذجة. وقد يكون من المفيد أن تختبر ذلك في وقت مبكر قبل أن تنفّذ مهامك النمذجية. يندرج هذا عموماً تحت عمليّة اختبار نظام المعلومات الجغرافيّة الخاص بك قبل استخدامه. لكن على الرغم من أن تنفيذ منهجيّة الاختبار الشامل قد تكون عمليّة تنويرية مفيدة جداً – إلا أنها من المحتمل أن تكون أكثر ممّا تريد عندما تحاول الإجابة على أسئلتك بنظام المعلومات الجغرافيّة الخاص بك. وكبديل لذلك، خذ مجموعة فرعيّة صغيرة من قاعدة البيانات الخاصة بك (كلما كان عدد الخلايا أقل كان ذلك أفضل) ثم افحص إجراءات حساسة معينة داخل كل نموذج فرعي. يستلزم هذا، عادةً، ثلاث عمليات منفصلة: (١) تطوير عمليّة اختيار للخوارزميات بهدف اختبارها؛ (٢) اختيار أجزاء مكانيّة مفيدة من قاعدة البيانات التي ستقارن بها أداء هذه الخوارزميات؛ (٣) تحديد الحجم المطلوب لهذه البيانات الفرعيّة لاختبار الخوارزميات المختارة. لقد رأينا

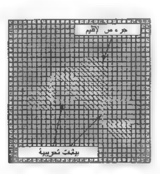
في السابق أن المعامِلات يمكن أن تتراوح بين معامِلات محلية (خلية بخلية) إلى معامِلات شمولية، كل واحد منها يقدِّم سيناريواً مختلفاً لاختيار الجزء التجريبي الأولي (Prototype) من قاعدة بياناتك.

أما ما يتعلق بالمعامِلات المحليّة، فإن مهمة اختيار قواعد البيانات الأولية لعمل الاختبار تعد عمليّة سهلة نسبياً. إنها تتطلب فقط أن الخلايا قيد الاختبار تمثّل الفئات أو القيم الهامة داخل نموذجك. وفي المعامِلات التركزيّة، فإنه من الأفضل أن تُختار الخلايا بحيث يكون هناك خلايا من داخل الجوار المستخدم وأخرى قريبة منه (الشكل رقم ٩,١). وبهذه الطريقة، يمكنك معرفة إن كان هناك خلايا خارج الجوار قد تأثرت بالبرنامج دون قصد، بالإضافة إلى تقييم العمليات الحسابيّة داخل الجوار نفسه.



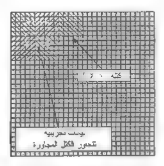
الشكل رقم (٩,١). اختيار مجموعة فرعيّة من البيانات لتقييم صحة خوارزميات الوظائف التركزيّة.

ويمكن تبني منهجيّة مماثلة لدراسة المعامِلات النطاقيّة – إلا أنه في حالة وجود نطاقات (أقاليم) مجزأة فإنه ينبغي استخدام اثنين أو ثلاثة من المواقع التي تحتوي على بيانات تجريبيّة بحيث يكون جزء واحد من داخل الإقليم والآخر من خارجه (الشكل رقم ٩,٢).



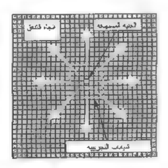
الشكل رقم (٩,٢). اختيار مجموعة فرعيّة من البيانات لتقييم صحة خوارزميات الوظائف النطاقيّة.

أما المعاملات الكتليّة فيمكن اختيارها بسهولة عن طريق اختيار مجموعة من خلايا الشبكة في إطار الكتلة قيد الدراسة. أفضّل شخصياً أن أنظر في كتلتين متجاورتين، وذلك للتأكد فقط من أن هذه العمليّة تعمل بشكل ملائم عند التحرك من كتلة إلى أخرى (الشكل رقم ٩,٣).



الشكل رقم (٩,٣). اختيار مجموعة فرعيّة من البيانات لتقييم صحة خوارزميات الوظائف الكتليّة.

من بين أكثر العوامل صعوبة في مسألة اختيار خلايا عينة الاختبار هي العوامل الشموليّة؛ ذلك لأنها تعمل في جميع أنحاء الموضوع الشبكي بأكمله، ولأنها قد تكون بسيطة نسبياً أو معقدة للغاية. ولأن قاعدة قيم الخلايا المتغيرة بدرجة كبيرة في قاعدة البيانات يمكن، أيضاً، أن يكون لها تأثير على طريقة أداء الخوارزميات. وفي ظل هذه الظروف، فإني عادةً ما أحاول أن اختار خلايا الاختبار من خلال البدء بالخلية المستهدفة ثم الانتقال إلى الخارج في جميع الاتجاهات لمسافة تمتد إلى ثلاث أو أربع خلايا شبكية على الأقل (الشكل رقم ٩،٤). وإذا لم تصادف أي مشكلات عند هذا المستوى، فإنك، في الغالب، يمكن أن تطمئن - إلى حد ما - لأداء النص البرمجي، خاصة فيما يتعلق بالتراكم المحتمل للأخطاء جراء الحسابات المتعاقبة في البرنامج.



الشكل رقم (٩,٤). اختيار مجموعة فرعيّة من البيانات لتقييم صحة خوارزميات الوظائف الشموليّة.

وبغض النظر عن أنواع المعامِلات المختارة للفحص، فعمليّة التحقق تبدأ أولاً باستنساخ العمليّة يدوياً. فعلى سبيل المثال، إذا كنت تريد أن تختبر معامِلا محليا، - لنقل مطابقة موضوعين شبكيين باستخدام عمليّة الضرب - فإن عينة خلوية متجاورة من مصفوفة ذات مرجع جغرافي بأبعاد (4 × 4) خلايا سوف تفي بغرض الاختيار. وبمقارنة هذه الخلايا المختارة من مخرج نظام المعلومات الجغرافيّة بنظيراتها التي حُسبت يدوياً فإنه ينبغي أن تكون النتائج متطابقة (الشكل رقم ٩،٥). ويمكن فحص أي من المعامِلات الأخرى بنفس الأسلوب، وإن كانت الخوارزميات الأكثر تعقيداً قد تتطلب وقتاً أكثر ممّا تتطلبه العوامل المحليّة البسيطة.

4	4	5	5
4	4	4	5
4	5	5	5
5	5	1	1

−

4	4	5	5
4	4	4	5
4	5	5	5
5	5	1	1

=

0	0	0	0
0	0	0	0
0	0	0	0
0	0	0	0

الشكل رقم (٩،٥) مقارنة نتائج العمليات اليدوية مع نظيراتها الحاسوبية. يفترض أن تكون النتائج نفسها، ففي حلال طرح الطبقتين لابد أن تكون النتائج في الطبقة المُخرجة عبارة عن مجموعة أصفار.

دعنا نفترض أن هدفك، على أي حال، هو تقييم دقة (تكراريّة) الخوارزمية. فإذا اقتنعت بأن الخوارزمية تعمل بشكل سليم عندما قارنت نتائجها مع نتائجك اليدوية، فإنه يمكنك - بعد ذلك - تقييم التكراريّة من خلال تنفيذها (الخوارزمية) مرتين، وأخيراً تقوم بعمليّة طرح نتيجتي المطابقة من هذين التكرارين. فإذا كانت النتائج متسقة (ثابتة)، فإن هذا ينتج منه مجموعة من الأصفار. ورغم أن مثل هذه العمليّة قد تبدو للوهلة الأولى أنها عمليّة عديمة الجدوى - إلا أنك قد تتفاجأ كيف أنه، في كثير من الأحيان، هناك مجموعة من الخلايا لا تحمل قيما صفرية.

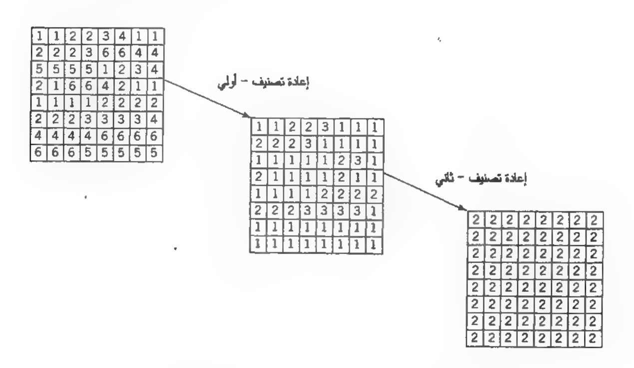
ثمّة جانب مهم آخر للتحقق من النموذج وهو تقييم مدى ملاءمة تطبيق الخوارزميات نفسها على النموذج. فكما تذكر، فالنموذج ما هو إلا تسلسلاً مرتباً لعلميات خرائطية، وعليه فإن ترتيب مثل هذه العمليات غالباً ما يكون حاسما للنمذجة السليمة لمتغيراتك. فعمليات إعادة التصنيف، تتطلب، في كثير من الأحوال، عدة خطوات،

كل منها يجب أن يُنفَّذ في تسلسل صحيح للحصول على الجواب الصحيح. ويتسم هذا بأهمية خاصة إذا كان نظام المعلومات الجغرافيّة الخلوي الخاص بك لا يظهِر أو يدرج مفتاحاً أو دليلاً مرتبطاً بنتيجة العمليات المستخدمة أو المنفذة. يشبه هذا، وبدرجة كبيرة، المشكلات المتعلقة بالخصائص التوزيعية للمعادلات الجبريّة، حيث نجد أن بعض تسلسل خطوات العمليّة الواردة بين الأقواس يجب أن تُنفذ أولاً ؛ لكي تحقق المعادلة النتائج الصحيحة.

ولعل عمليّة إعادة التصنيف من خلال أمر إعادة الترقيم تعد مثالاً لهذه المشكلة. فلنقل، على سبيل المثال، أنك تحاول إعادة تصنيف بعض خلايا الشبكة لأنواع محدّدة من استخدامات الأرض بحيث يصبح التصنيف تصنيفاً عاماً. ففي هذه الحالة، أنت تحاول أن تغير الشعير والقمح والشوفان والبطاطا وفول الصويا، والبنجر إلى مجموعة فئات أكثر عمومية تطلق عليها المحاصيل البقلية والحبوب. لنقل، أيضاً، أن الشعير خُصص له فئة اسمية (١)، و(٢) للقمح، و(٣) للشوفان، و(٤) للبطاطا، و(٥) لفول الصويا، و(٦) للبنجر. فإذا أصدرت مجموعة من الأوامر لتغير قيم البطاطا، وفول الصويا، والبنجر (القيم ٤ و ٥ و ٦) لتصبح كلها ذات قيمة (١)، فإن لديك الآن شبكة تحمل القيم (١) و (٢) و (٣). للأسف، فإن قيمة (١) كانت مستخدمة للشعير. الآن تُظهِر شبكتك أن (٢) تمثّل القمح، و (٣) تمثّل الشوفان - كما كان الحال من قبل. لكن قيمة (١)، التي كانت تمثّل فقط الشعير، تمثّل الآن القمح وكل المحاصيل البقلية. وإذا واصلت عمليّة إعادة الترقيم، بحيث تجعل القيمة الاسميّة (٢) تمثّل جميع الحبوب، فإنك ستعيد الترقيم لجميع ما تبقى من القيم (١ ، و٢ ، و ٣) حتى يُعاد تصنيفها على أنها حبوب. ما ستحصل عليه هو خريطة تكون فيها كل القيم قيمة واحدة وهي (٢) (الشكل رقم ٩,٦). أنت بهذا قد قمت بالفعل بخلط فئاتك بحيث أصبح من الصعب التعرف عليها. غير أنه مع معظم برمجيات نظم المعلومات الجغرافيّة الاحترافية لم تعد هذه مشكلة ؛ لأنك تستطيع أن تغير قيم الفئات مباشرة (أي، أن كل من الشعير، والشوفان والقمح سوف يُطلق عليها الآن حبوب، في حين أن كل من البطاطا وفول الصويا، والبنجر سوف تُصنف كلها على أنها محاصيل بقلية). ومع ذلك، فمشكلة التخصيصات المنطقيّة ما زالت قائمة ويمكن تكرارها، وذلك في حالة عدم توخي الحذر بشأن كيفيّة اختيار فئاتك. ولفحص هذه، يجب عليك - كما كان الحال من قبل- أن تختار جزءاً صغيراً من خلايا موضوعك الشبكي وتنفّذ العمليّة يدوياً حتى تعرف على الأقل كيف تبدو خريطتك ولو في جزء صغير منها.

ثمة مشكلة عامة في المنطق تتعلق بالاستخدام غير السليم للمقاييس العددية. فعلى سبيل المثال، قد تجد نفسك تحل مشكلة ما من خلال ضرب القيم الاسميّة للاستخدام الأرضي، مثل أرقام (٥)، و(١٠)، و(١٥) التي تمثّل المناطق الحضريّة، والزراعة، والأراضي الخالية، على التوالي، بقيم كمية نسبية للإرتفاع مثل (١٠)، و(٢٠)، و(٣٠) قدم. فالنتائج من مثل هذه العمليات تكون، في الغالب، ممتعة من الناحية الجمالية، بل ويمكن أن تمثّل أنماطاً توزيعية قد تبدو معقولة رغم أنها مضللة. إن ما كنت ستحصل عليه من هذه العمليّة هو مجرد قيم، فقيمة (٥٠٠)، على سبيل المثال، ما هي إلا نتيجة ضرب (١٠) أقدام في (٥)، التي لا تمثّل سوى فئة اسمية للمناطق الحضريّة. لكن لكي تختبر منطقك، عليك أن تسأل نفسك عما تمثّله قيمة (٥٠٠)، خاصةً وأنه يمكن أن يُساء فهمها

بسهولة باعتبارها قيمةً ترتيبيةً. فهل يعني ذلك أن لديك استخدام حضري للأرض عند قيم الارتفاع (١٠) أقدام؟ أم يعني ذلك أنه ربما ينبغي أن تطبق منهجيّة بديلة، مثل تطبيق معامل منطقي بحيث إن المضلعات أو المساحات التي تحمل قيمة (١٠) أقدام تُضم مع المضلعات التي تحمل قيما تمثّل المناطق الحضريّة، من خلال تطبيق القيمة المنطقيّة "و" (AND) على هذين النوعين من القيم؟ وعليه، فأنت تقول، هنا، أريد جميع المساحات التي تتشارك في هاتين الفئتين؛ بدلاً من المخاطرة بخلق مشكلة رياضيّة بطريقة غير ملاءمة. ومرة أخرى، بعض برامج نظم المعلومات الجغرافيّة لديها بعض الضمانات ضد هذا النهج غير المنطقي، ولكن قد تستغرب كيف أن كثيراً من الطرائق قد تقودك لمثل هذه الأخطاء، وكيف أنه يصعب عليك اكتشافها إلا بعد أن يكتمل النموذج. وعليه، فإني أوصيك بأن تختبر منطقك - مرة أخرى، من خلال تنفيذ العمليات يدوياً على جزء صغير من خلايا الشبكة الخاصة بك في كل خطوة من خطوات عمليّة النمذجة. بعد ذلك، أسأل نفسك الأسئلة ذاتها التي وردت في مثالنا أعلاه.



1	1	2	2	3	4	1	1
2	2	2	3	6	6	4	4
5	5	5	5	1	2	3	4
2	1	6	6	4	2	1	1
1	1	1	1	2	2	2	2
2	2	2	3	3	3	3	4
4	4	4	4	6	6	6	6
6	6	6	5	5	5	5	5

1	1	2	2	3	1	1	1
2	2	2	3	1	1	1	1
1	1	1	1	1	2	3	1
2	1	1	1	1	2	1	1
1	1	1	1	2	2	2	2
2	2	2	3	3	3	3	1
1	1	1	1	1	1	1	1
1	1	1	1	1	1	1	1

2	2	2	2	2	2	2	2
2	2	2	2	2	2	2	2
2	2	2	2	2	2	2	2
2	2	2	2	2	2	2	2
2	2	2	2	2	2	2	2
2	2	2	2	2	2	2	2
2	2	2	2	2	2	2	2
2	2	2	2	2	2	2	2

الشكل رقم (٩,٦). يمكن أن ينتج من عمليات إعادة التصنيف المتعاقبة نتائج غير متوقعة.

صلاحية النموذج

لعل أصعب وأهم عمليات تقييم صحة النموذج ومصداقيته هي تلك العملية المتعلقة بتحديد قدرة النموذج على محاكاة الواقع بفعالية حسب طبيعة عمل هذا الواقع نفسه. وإذا أخذنا بعين الاعتبار أن نماذج نظم المعلومات الجغرافيّة، مثل جميع النماذج، ليست تصغيراً (أو صورة مصغرة) للواقع وإنما تبسيطاً له، فإنه من الضروري أن

تعرف ما هي الافتراضات الأساسية أو الضمنية للنموذج قبل اختباره. بل يفترض، أيضاً، إن فهمنا للبيئة المنمذجة هو فهم كامل بما فيه الكفاية لنعرف كيف ينبغي أن يبدو النموذج ، وكيف يعمل. وإذا كان هذا هو الحال، فإن تحليل صلاحية النموذج - بعدئذ - سيكون فقط امتداداً لتقييم الصحة بحيث إن كل من قيود النموذج ومنطقه وحساباته الرياضيّة يُفترض أن تكون كلها صحيحة. وطالما أن البرامج الحاسوبية تقدم الإجابات التي يقول لك منطقك أنها صحيحة، فإن النموذج - عندئذ - يعد نموذجاً صالحاً.

إن هذا الشكل من أشكال تصديق النموذج هو في الحقيقة بمثابة حلقة دائرية من الإستنباط الفكري. فهو كأنه يقول الآتي: "على افتراض أن منطقي صحيح، وأن الخوارزميات تنفذ بشكل صحيح هذا المنطق الصحيح، إذا فالنموذج صالح". وللأسف، فلأن معظم البيئات المكانيّة غير مفهومة بدرجة كبيرة، فإنه يُصعب تبني أو عمل افتراضات أولية بالمنطق الصحيح. ولعل أفضل طريقة للسؤال، الطريقة التالية: "هل النموذج ينفّذ فعلاً ما نعتقده؟ " فلقد شهدنا بالفعل، أنه حتى الخوارزميات نفسها يمكن أن تكون خاطئة بدرجة كبيرة في كيفيّة نمذجتها لشيء يبدو لنا واضحاً، مثل تحليل الرؤية (Fisher, 1996).

ففي دراسة فيشر (١٩٩٦م) لتحليل الرؤية، استخدم الباحث ربما أفضل التقنيات لتحليل صلاحية النماذج الكاملة؛ أي التحقق الحقلي. هذا في لغة الاستشعار عن بعد التقليديّة، يسمى بالحقيقة الأرضية، على الرغم من أن كلمة الحقيقة لا تنطبق حقاً. ففي النمذجة بنظم المعلومات الجغرافيّة، ليس الغرض إظهار كيف أن بيانات الأقمار الصناعية تعمل كبدائل للبيانات الحقيقية على أرض الواقع، بل كيف يتنبأ نموذج نظم المعلومات الجغرافيّة بالظروف الحالية أو المقبلة (في أبسط الحالات) (Coulombe and Lowell, 1995)، أو ما مدى فعاليتة في توصيف أفضل الحلول (للنماذج الموصّفة)، بل إن المطلوب بالضبط هو كيف يقوم الواحد باستخدام البيانات الميدانية للتحقق من نموذج نظام المعلومات الجغرافيّة؟

وإذا كانت التوقعات ثابتة مؤقتاً ووصفيّة - على سبيل المثال، فإن كنت تحاول أن تبيّن أن الانحدارات الحادة المواجهة للجنوب في المناخات الرطبة هي عموماً أقل استقراراً مقارنةً بالمنحدرات الخفيفة المواجهة للشمال في المناخات المعتدلة - فإن زيارة الموقع سوف تكون فعالة. في هذا السيناريو، يمكن توضيح صحة هذا النموذج البسيط جداً فقط من خلال زيارة بعض النقاط المختارة بطريقة عشوائية في كلا الموقعين. كما أن تحليل صلاحية النموذج يُعتبر سهل نسبياً إذا كان النموذج وصفياً للظروف التي ينبغي أن توجد ضمن أطر زمنية قصيرة نسبياً لأي من العمليات الديناميكيّة قيد الدراسة. فعلى سبيل المثال، إذا كان المطلوب بناء سد وكانت مهمتك أن تنمذج أين سيذهب الماء بعد أن يكتمل بناء السد، فإن المهمة - عندئذ - بسيطة جداً، إذ سوف تقارن ما أنتجه أو تنبأ به النموذج مع ما حدث للماء فعلاً في السد بعد اكتماله. لقد طُبقت هذه المنهجيّة لنماذج التنبؤ الخاصة بموائل الطوير (Nelson, and hunette, 1987). ومن بين أكثر الأمثلة المنشورة تفصيلاً وأكثرها نجاحاً للتحقق من قدرة تنبؤ النموذج

ميدانياً ذلك المثال الخاص بالتنبؤ بالمواقع الملاءمة لطيور الزرياب (نوع من الغربان) في فلوريدا عن طريق استخدام بيانات مراقبة لمواقع الطيور الفعليّة (Duncan, et al., 1995).

لقد رأينا في نموذج ليسا أن مهمتنا هي تطوير نموذج يسمح للمخططين المحليين بالتحكم في عمليّة الحفاظ على أفضل الأراضي الزراعية. وكانت الطريقة لتحقيق هذا الأمر من خلال تقييد تراخيص الاستخدامات البديلة للأرض. إحدى المنهجيات لنمذجة عمليّة التحقق من النموذج هي توظيف استخدام بيانات حقلية بديلة -في هذه الحالة ، بيانات تراخيص البناء - وذلك لتقديم تطبيق ناجح للنموذج. وفي المناطق التي تنبأ لها نموذج ليسا باحتمالية أعلى للاستخدامات غير الزراعية ، كان لابد من أن يكون هناك نسبة أعلى لتصاريح الاستخدامات غير الزراعية. هذا ما تم استخدامه للاختبار الأولي للطريقة (Lucky and DeMers, 1986-1987) ، فهو إلى حد ما، مقياس لمقبولية النموذج ؛ لأنه يحدّد مدى اتساق قرارات مخططي البلدية مع النتائج ، أو أن النتائج ذاتها تتفق مع معايير تصميم النموذج. إنها تقدم طريقة واحدة لتحليل نتائج النموذج نفسه بدلاً من خروجه دون تحقق من صلاحيته.

وبالرغم من أن منهجيّة أخذ العينات ميدانياً تعد وسيلة مفضلة للغاية لتقييم صحة نماذج نظم المعلومات الجغرافيّة - إلا أن لديها بعض أوجه القصور الكبيرة. أولاً ، تعد عمليّة جمع البيانات الميدانية وتحليلها ، في معظم الأحوال، عمليّة مكلفة وتستغرق وقتاً طويلاً ، خاصةً إذا كانت المنطقة قيد النمذجة كبيرة. ثانياً ، هناك العديد من السيناريوهات ، مثل التنبوات باستخدام الحيوانات البرية للموائل ، تمنع استخدام مثل هذه المنهجيّة. كما أن هناك عدد قليل من الحالات التي تشبه تلك الموجودة في فلوريدا (Duncan, et al., 1995) ، حيث تعيش الحيوانات والأحياء البرية داخل نطاقات متوقعة للموائل ، وذلك لاختبار الفرضيات التي يقوم عليها النموذج. إن التنبؤ بالمواقع المناسبة لنقل الحياة البرية المُجتثّة من منطقة أو إقليم معين ، على سبيل المثال ، يفترض أنه سيكون في نهاية المطاف عينات فعليّة ستُقدم لتقييم فعالية التوقعات. وأخيراً ، وفي كثير من الحالات ، فإنه على الرغم من أننا قد يكون في وسعنا جمع عينة للظروف المستقبلية ضمن النماذج الديناميكيّة ، مثل نماذج حرائق الغابات (Carrara, et al., 1996; Liu, 1998; Yuan, 1994, 1997) - إلا أن الانتظار إلى ما بعد الانتهاء فعليا من العمليّة يحد بدرجة كبيرة من فائدة وقبول النموذج ؛ لأن الغرض هو التنبؤ بالأضرار الناجمة عن الحريق (الجزء الوصفي من النموذج) قبل أن يحدث بحيث يمكن - بعدئذ - توفير العلاج المناسب (الجزء الموصَّف من النموذج). وعليه ، فإنه في مثل هذه الحالات ، لابد من توفر بدائل أخرى غير طريقة أخذ العينات الميدانية أو أي طريقة أخرى للفحص أو التحقق المباشر.

ولعل أحد البدائل الفعّالة للتحقق من صحة النموذج ميدانياً ، استخدام مجموعات تحقق أو نتائج محدّدة سلفاً. يوجد عدد قليل جداً من الظروف أو الحالات التي تسمح لنا بامتلاك مخرج خرائطي متوفر بسهولة لاختبار نماذج نظم المعلومات الجغرافيّة. والسبب في هذا هو أنه لو أننا في الأساس عرفنا الإجابات ، فإننا ربما لا نحتاج إلى نموذج نظم المعلومات الجغرافيّة في المقام الأول. ولقد اقترح ستومز (١٩٩٦م) تقنية بديلة واعدة لكل من الاستشعار عن بعد ونظم

المعلومات الجغرافيّة: استخدام ما يسمى بالدواخل الخرائطيّة (Maplets)، أو خرائط تفصيلية للمناطق الصغيرة، كبديل للفحص الميداني. يقارن منهجه بين خرائط تفصيلية صغيرة المساحة، من حيث مكوناتها، وعدم تجانسها، وصحة كل الوحدات الخرائطيّة مع تلك في الخرائط الأكبر للمنطقة. إن إحدى المنهجيات لتوظيف هذه الطريقة في سياق نظام المعلومات الجغرافيّة هي بناء أنموذج نظام معلومات جغرافيّة أولي (Prototype) لمساحة صغيرة تفصيلية بحيث يسمح بعمليّة تحقق مكثف قبل بناء النموذج العام. وإذا كانت المنطقة الأكبر تحتوي على عدد من السيناريوهات أو الظروف البيئيّة التي تختلف عن بعضها اختلافاً جذرياً، فإنه يمكن - عندئذ - بناء أنموذج أولي لكل سيناريو أو ظرف بيئي على حدة بنفس الطريقة أعلاه. وإذا أظهرت الاختبارات لكل أنموذج أن النموذج صالح (أو على الأقل معقول)، فإن النموذج العام يمكن أن يؤدي عمله بنفس الطريقة. وإذا تبيّن، من ناحية أخرى، أن واحدة أو أكثر من المناطق الفرعيّة لا يبدو أنها تنفذ العمل كما هو متوقع منها، فقد يبرر هذا عمل بعض التعديل في النموذج.

وللأسف، فعلى الرغم من أن عمل مثل هذه النماذج المصغرة لإنتاج مجموعات تُثْبِت من صلاحية النموذج تعد منهجيّة معقولة - إلا أن عيبها الرئيس هو ضيق الوقت. وهناك بديل لهذا النهج وهو استخدام نسخة مكانيّة ممّا يعرف في الإحصاء بالإقتطاع الجزئي (Jacknifing)، والتي فيها يتم استخراج جزء من النموذج العام لعمل نمذجة مستقلة باستخدام نفس الصياغة والتنفيذ. ويمكن فحص هذا - بعدئذ - لما تبقى (من النموذج) لتحديد إمكانية قيام النموذج بالتنفيذ أو العمل حسب ما هو متوقع.

يمكن تطبيق هذه المنهجيّة، أيضاً، عن طريق اختيار عينات زمنية بدلاً من المكانيّة من قاعدة بياناتنا. فلقد استخدم بويرنر وآخرون (١٩٩٦م) هذه المنهجيّة للتنبؤ بتغير الاستخدام الأرضي من فترة زمنية لأخرى ضمن نظام المعلومات الجغرافيّة. فلقد استطاع الباحثون، من خلال استخدام نموذج سلسلة ماركوف، أن يضعوا مجموعة من القواعد لكل فترة من الفترات الزمنية الثلاث، وكذلك لكامل الفترة الزمنية من البداية إلى النهاية، تلى ذلك فحص لهذه القواعد من حيث قدرتها على التنبؤ بالتغييرات في قاعدة البيانات.

على الرغم من أن هذه المنهجيّة الأخيرة تتيح لنا تقييم ثبات النموذج (أو دقته)، بوصفها وسيلةً تعمل أساساً على إنتاج نسخ مكررة - إلا أنه لا يمكن أن يتوقع منها أن تتحقق من قدرة النموذج في إظهار العمليات التحتيّة في العالم الحقيقي (الواقع). ولكي نستطيع أن نقيس بالضبط قدرة النموذج في محاكاة سيناريوهات العالم الحقيقي، فإننا لا نزال في حاجة إلى معرفة كيف يعمل العالم الحقيقي. وفي الحالات التي تكون هذه المعلومات مفقودة أو ناقصة، يجب أن يظهر النموذج على أنه فرضية عمل حتى يتم - في نهاية المطاف - اختباره من خلال تقييم ما يحدث بالفعل في الميدان.

ركزت الأساليب المشروحة حتى الآن على المقارنة بين المخرج الخرائطي والأنماط المكانيّة التي تظهر إما في شكل مجموعات فرعيّة من نظام المعلومات الجغرافيّة، وإما على هيئة أنماط مكانيّة على المظهر الطبيعي (الواقع). إن

دراسة صحة نموذج ما لا تقتصر على منهجيّة المقارنة الخرائطيّة هذه. وبدلاً من ذلك، يستطيع المنمذج أن يستخدم العديد من اختبارات التقييم الإحصائيّة المتوفرة بسهولة لتقييم النماذج. ولأن هذا الكتاب ليس كتاباً في الاختبارات الإحصائيّة، فإني لن أسعى إلى تغطية كل ما يمكن من الاختبارات، لكن من المفيد تقديم بضعة أمثلة.

فلنقل، على سبيل المثال، أن نموذج نظام المعلومات الجغرافيّة الخاص بك يهدف إلى نمذجة تشتت النباتات داخل بيئة متنوعة تضم مدىً من الإمكانات التربية وظواهر طبوغرافيّة واضحة التي من المرجح أنها تركّز أو تجمّع البذور أو غيرها من عناصر التكاثر النباتي في أماكن معينة. يمكن في هذه الحالة استخدام خلايا شبكية مختارة بشكل عشوائي لتطوير نموذج انحدار يتنبأ بمواقع النباتات الجديدة بناءً على القيم المقاسة للتربة والارتفاع. وقد يحدث أنك قد قمت بعمل نموذج الانحدار هذا قبل صياغة نموذجك للتأكد من وجود مثل هذه العلاقات. فإذا وجدت بعد التطبيق أن النموذج وزع النباتات الجديدة في شكل موحد أو متماثل، فإنه من الواضح تماماً أن انحدارك لا يتنبأ بشكل سليم بالمواقع الجديدة. يمكنك، أيضاً، أن تطبق هذه المنهجيّة الأخيرة (الانحدار) باستخدام الانحدار اللوغاريثمي المطبق على شبكة عشوائية من الخلايا، خاصةً متى ما أردت أن تتنبأ بالأنماط النقطية.

هناك بعض الاختبارات الإحصائيّة المفيدة لاختبار التنوع أو الاختلاف داخل وبين المجموعات بناءً على متوسطاتها. فيمكن اختيار عينات فرعيّة صغيرة لقياس استجابة نموذجك لعمل تحليل للتنوع للتأكد من وجود تنوع كبير في المناطق التي كان يجب أن يُظهِر النموذج فيها تنوعاً منخفضاً أو محدوداً نسبياً. وفي الظروف التي ينطبق عليها هذا الوصف، يمكنك، أيضاً، أن تطبق شكلاً ما من أشكال تحليل العوامل الأولية (PCA) على نموذجك لتحديد احتمالية أن واحداً أو أكثر من نماذجك الفرعيّة قد وضع وزناً مبالغاً فيه على نتائج النموذج. وممّا لا شك فيه، هناك العديد من الاختبارات الإحصائيّة التي يمكن تطبيقها. وأنا، هنا، أشجعك على استخدامها متى ما كان ذلك ممكنا من الناحية العمليّة لتقييم نماذجك، لا سيما عندما تنطوي النتائج على حالات محتملة تتعلق بالتقاضي بناءً على القرارات المتخذة من نتائج النموذج.

الاقتصاد

قبل أن ننتقل إلى موضوع مقبولية النموذج، من المهم أن نتذكر أن هناك نماذج أنيقة ونماذج ليست كذلك يمكن أن تحقق، أيضاً، نفس النتائج. إن مصطلح الاقتصاد (التوفير) هو عنوان هذا القسم هنا؛ ذلك لأن له صلة مباشرة بالمنطق. النموذج المقتصد أو الموفّر (Parsimonious model) هو ذلك النموذج الذي يحقق نتائج صحيحة بأقل عدد من الخطوات اللازمة وأقل قدراً من وقت المعالجة الحاسوبية. وفي النمذجة بنظم المعلومات الجغرافيّة، هناك العديد من السبل لتحقيق نفس النتائج، خاصة بالنسبة للنماذج التي تهدف إلى تمثيل الواقع الحقيقي. وكما هو الحال في الرياضيات، نجد أن القاعدة العمليّة العامة هي أننا لا ينبغي أن ننشئ نموذجاً معقداً عند توفر نموذج بسيط يمكن

أن نستخدمه. ينطبق نفس هذا المبدأ، أيضاً، على البرمجة الحاسوبية؛ ذلك لأن بعض الخوارزميات تكون أكثر كفاءة، وتقوم على نصوص برمجية أقل، ومع ذلك تحقق نفس النتائج. وهناك القليل أو لا يوجد - على حد علمي- كثير من المؤلفات العلمية حول ما يوجهنا أو يساعدنا من خلال دراسة تفصيلية لمسألة الاقتصاد، أو لنقل مفهوم الكفاءة في نماذج نظم المعلومات الجغرافيّة. ولهذا السبب، ينبغي أن تدرك أن ما هو مكتوب، هنا، هو إلى حد كبير مجرد تأملاتي الخاصة، استناداً إلى خبرتي التقنية والبحثية. وإذا وجدت نفسك تسأل هل كان نموذجك هو الأكثر أناقة، أو الأقل إرباكاً، أو أن منهجيته هي أكثر المنهجيات الممكنة وضوحاً، فإني بذلك قد حققت النتيجة المرجوة؛ جعلتك تفكر في هذا أثناء استخدامك للنموذج الخاص بك. أسمح لي أن أبدأ بتقديم قائمتين أساسيتين ليكونا بهذا الترتيب حسب تصوري: أولاً، أهمية الاقتصاد في النمذجة بنظم المعلومات الجغرافيّة؛ وثانياً، الأشياء التي علينا أن نبحثها.

أهمية الاقتصاد

١- كلما كان النموذج أكثر اقتصاداً، كان شرحه للعميل (أو لك شخصياً) أكثر سهولة.

٢- كلما كان النموذج أكثر اقتصاداً، كانت عمليّة التأكد من صحته أكثر سهولة.

٣- كلما زاد تعقيد بيئة العالم الحقيقي، زادت أهمية أن يُظهِر النموذج قدرته على الاقتصاد.

٤- كلما كان النموذج أكثر اقتصاداً، كان من السهل صقله وتوسيعه.

بداية مع البند (١) أعلاه، من المهم أن تتذكر أن معظم العملاء ليسوا على اطلاع بتفاصيل النمذجة بنظام المعلومات الجغرافيّة. وإذا كانوا كذلك، فإنهم على الأرجح لن يستعينوا بخدماتك. فكلما كانت صياغة النموذج ومخطط سير عملياته أبسط، قلّ الوقت اللازم لشرح أجزاءه؛ لأنك في هذه الحالة ستعرض وتشرح عدداً محدوداً من أجزاء النموذج. هذا نفسه ينطبق على البند (٢)؛ ذلك أن عددا أقل من الخطوات يعني عددا أقل من الأمور التي يمكن أن تفشل، وعدداً أقل من الخطوات التي ينبغي التأكد من صحتها. أما البند (٣) فهو يبدو لي معقولاً، على الرغم من أنه ليس سوى فرضية عمل. إن النموذج البسيط لا يعني، هنا، أننا تخلصنا من الخطوات اللازمة في العمليّة، إنه يعني فقط أنه تم التخلص من الطرائق الزائدة، أو التي لا معنى لها، أو غير الفعالة والتي بدونها يمكن أن نحقق نفس النتيجة. فعلى سبيل المثال، لماذا نقوم بتنفيذ سلسلة من عمليات المطابقة الخرائطيّة في حين أن تنفيذ عمليّة إعادة تصنيف بسيطة سوف تحقق نفس النتائج؟

وأخيراً، يبدو البند (٤) واضحاً تماماً، لا سيما إذا كان عميلك مستخدم مبتدئ في نظم المعلومات الجغرافيّة. لقد استعرضنا بالدراسة نموذج ليسا أكثر من مرة في هذا الكتاب، والسبب وراء تطوير نموذج التخطيط هذا كنموذج جمعي (إضافي) خطي هو أنه يقدِّم طريقة يمكن فهمها بسهولة لتحقيق تراتيب وزنية لتحويل الاستخدام الأرضي المحتمل من استخدامات زراعية إلى استخدامات غير زراعية. وبالرغم من أن النموذج الذي يحاول إدماج مستوى

متقدم من حسابات التفاضل والتكامل قد يكون أكثر دقة في تمثيل الواقع - إلا أنه لن يكون على الأرجح ذا فائدة كبيرة إذا لم يفهم العملاء كيفيّة عمله - لكن سوف نغطي هذا الموضوع بعد قليل في هذا الفصل. أما الآن، فنتنقل إلى طرائق قياس الاقتصاد من خلال فحص بعض منهجيات القياس على النحو التالي:

طرائق لقياس الاقتصاد

١- عدد الخطوات.

٢- بساطة الخطوات.

٣- مقدار زمن المعالجة الحاسوبية.

٤- سهولة الفهم.

٥- عدد مرات المُعاودَة.

٦- نسبة الاقتصاد إلى إتقان النموذج.

لا يوجد الكثير من الإرشادات في المراجع حول كيفيّة قياس اقتصاد نموذج نظم المعلومات الجغرافيّة أكثر ممّا هو موجود للاقتصاد نفسه في المجمل. تعطينا القائمة البسيطة المذكورة أعلاه، على أي حال، بعض التوجيه. ربما تكون أول هذه الطرائق أو الأساليب هي الأكثر وضوحاً، لكنها ليست بالضرورة أفضل طريقة للقياس. بالتأكيد، إذا قدّم أربعة أشخاص نموذجاً بنظم المعلومات الجغرافيّة، كل نموذج يقدّم النتيجة المرجوة، فإن النموذج الأقل عدداً من الخطوات الحسابيّة سوف يُعتبر الأفضل من وجهة نظر قياس الاقتصاد. يتصل هذا بالبند (٢)، وإن كان الأمر، في بعض الأحيان، في علاقة عكسية؛ إذ أن الخطوات البسيطة، في بعض الحالات، يمكن استخدامها لحالات أكثر تعقيداً، مثل إعادة التصنيف بدلاً من عمليات المطابقة الخرائطيّة المتعددة، ومن ثم يتم فعلا خفض العدد الإجمالي من الخطوات اللازمة للمُخرج المطلوب. إلا أنه بالمقابل، قد تزيد الخطوات البسيطة المتعددة فعلياً مجموع عدد الخطوات، لكن يمكن تقليلها بسهولة عن طريق استخدام عمليّة واحدة أكثر تعقيداً. قد تكون العمليّة الواحدة المعقدة أكثر أناقةً، لكن قد يكون لها، أيضاً، أثراً سلبياً من ناحية أنها تتطلب المزيد من الوقت لشرحها. وفي هذه الحالة، عادةً ما أرجع إلى البند (١). قد لا يكون هناك حاجة إلى شرح كل خطوة في بعض الأوقات، لا سيما إذا كانت محدّدة تحديداً جيداً وراسخة النهج، مثل استخدام وظيفة الجوار بدلاً من تكرار استخدام عملية إعادة التصنيف. وإذا كان هناك شيئاً من الغموض ما زال قائماً فيما يخص أيّ الطريقتين يجب استخدامها، فإن البند (٣) (الطريقة الثالثة) قد يكون أكثر ملاءمة. وإذا كان الوقت الذي يستغرقه النموذج أثناء التشغيل عند استخدام معامِل أو وظيفة معقدة أطول بكثير من عدة خطوات بسيطة، فإن الخطوات المتعددة هي الأفضل في هذه الحالة. قد لا تكون هذه قضية كبيرة إذا أخذنا في الاعتبار سرعة معظم الحواسيب، إلا في حالة تشغيلات معاودة عديدة ضرورية للنموذج حتى يحقق النتائج النهائيّة. وفي مثل هذه الحالات، فإن تشغيل النموذج قد يستغرق عدة أيام باستخدام خوارزميات معقدة يجب تطبيقها عدة مرات، لا سيما إذا كان هناك حاجة لتدخل الإنسان بين كل خطوة وأخرى.

هذا بدوره يقودنا إلى طريقة أخرى لتقييم الاقتصاد، ألا وهي فهم النموذج. فإذا كان هناك العديد من المعاودات المتعددة والتي تتطلب تدخلاً بشرياً كل مرة، فإن الخطوات أو المراحل البسيطة عادةً ما تؤدي إلى فهم أكبر للمشغل، وسيكون هناك احتمالية ضئيلة للخطأ أثناء عمليّة معاودة واحدة أو أكثر. ربما يكون هذا هو الأمر الأكثر أهمية مقارنةً بأهمية فهم العميل لكل خطوة في النموذج؛ لأنه من المرجح أن العميل لا يريد أن يعرف كل التفاصيل. وتفيد تجربة العديد من المحترفين في بناء تطبيقات نظم المعلومات الجغرافيّة أن العميل يريد نتائج معقولة وفي وقت مناسب أكثر من شرح مفصل عما يعمله أو يقوم به النموذج فعليا. بالطبع، نحن لا نزال نفترض أن مصمم النموذج يحاول الحفاظ على درجة معينة من النزاهة المهنية خلال عمليّة النمذجة.

ونظرا إلى إمكانيّة أن تحتوي نماذجنا، خاصة النماذج الموصّفة، على العديد أو العشرات من عمليات المعاودة للتكيف مع سيناريوهات وتغييرات ظرفية، فإن تخفيض عدد هذه المعاودات يعد جانباً مهماً، أيضاً، من جوانب اقتصاد النموذج. فإذا أراد المخططون فقط، وكما هو الحال في نموذج ليسا، نموذجاً عاماً للأماكن الجيدة تناسب جميع الاستخدامات غير الزراعية، وليس نماذج محدّدة لكل استخدام، فإن عدد المعاودات يمكن تخفيضه أو حتى التخلص منه تماماً مع نموذج وصفي أكثر عمومية. إن أحد البدائل هو أن تنشئ نموذجاً منفصلاً لكل حالة. وبهذه الطريقة، فإن نموذجك العام يصبح بسيطاً على الدوام، ولكل حالة جديدة أو سيناريو يمكن اعتبارها على أنها نموذج منفصل. لهذه الطريقة بعض المزايا الفعليّة من وجهة نظر استخدام نظم المعلومات الجغرافيّة بوصفها أداةً لصنع القرار. فبدلاً من جعل النموذج يختبر جميع الحالات المحتملة، فإن النموذج يمكن ببساطة أن يُطوَّر من جديد مع بيانات لحالات أو ظروف جديدة تُضاف حسب الحاجة. وفي مثل هذه الظروف، يحتاج كل من منمذج ومشغِّل نظام المعلومات الجغرافيّة أن يعملا بشكل وثيق، لكن مع الحفاظ على البساطة.

يأخذ قياسنا النهائي للاقتصاد في الاعتبار العلاقة الوثيقة بين أناقة صياغة النموذج وهدفه النهائي لإخراج نتائج صحيحة. فقد ينتج النموذج البسيط استجابة سريعة فعلاً، لكن إذا لم يكن للنتائج معنى، فإن الصحة يجب أن يكون لها الأسبقية على الأناقة. وبذلك القول، علينا أن ندرك، مرة أخرى، أن رغبة العملاء للحصول على الاستجابة السريعة بحيث يمكن أن يفسروها بسهولة لرؤسائهم قد تجبرك على التخلي حتى عن هذه القاعدة العمليّة العامة. وللأسف، لا تتم النمذجة في فراغ إداري في كثير من بيئات العالم الحقيقي. يجب عليك أن تستخدم أفضل ما لديك من حكم فيما يتعلق باستعدادك لتقديم المخرج الذي قد لا تصل صحته أو صلاحيته إلى حد الكمال بسبب متطلبات العميل الزمنية.

إن قياس اقتصاد نظام المعلومات الجغرافيّة – مثل بناء نماذج نظم المعلومات الجغرافيّة نفسه – هو في النهاية فن بقدر ما هو علم. فهو يتطلب فهما جيدا للمفاهيم الجغرافيّة، ومعرفةً دقيقةً بالموضوع، ونظرةً متعمقةً، وإبداعا، وخلفيةً جيدةً في التحليل المكاني. كل هذه بدورها تستفيد من الخبرة؛ فكلما زادت خبرة المنمذج كان أكثر قدرةً في إنتاج نماذج نظم معلومات جغرافيّة فعالة مع قدر قليل من الهدر أو الخسارة بقدر الإمكان. ومع تطور

واتساع خبرتك في النمذجة بنظم المعلومات الجغرافيّة، ينبغي أن تبذل كل جهد ممكن لتصبح أفضل في صنع نماذج مختصرة ومحكمة بدلاً من الاقتصار على عمل نماذج أكبر فقط. ويمكن تأكيد ذلك بطريقة أخرى، فنصيحتي لك هي أن تحاول أن تقاوم الرغبة في إقناع الناس بقدرتك على عمل نماذج معقدة جداً عندما لا تكون ضرورية.

قبول النموذج

لقد أشرت إلى بعض المسائل المتعلقة بقبول النموذج من خلال دراسة قضايا صحة النموذج، والصلاحية، والاقتصاد. في الواقع، كل هذه القضايا تلعب، في بعض الحالات، دوراً ما في قبول المنتج المعلوماتي المكاني، وفي حالات أخرى، ليس لها أيّ تأثير. قد يبدو هذا التصريح غير عادي، في ضوء حجم المواد المقدمة حول هذه المواضيع الهامة، ولكن هناك حالات عندما يكون الهدف من الناتج النهائي من التحليل بنظم المعلومات الجغرافيّة ما هو إلا مجرد تقديم وثائق وتبرير للعملاء لاتخاذ قرار قد قاموا بتحديده سلفاً. وفي مثل هذه الحالات، يجب أن يقوم المنمذجون بنظم المعلومات+الجغرافيّة، مرة أخرى، بدراسة المعايير المهنية الخاصة بهم قبل قبول المهمة أو قبل تقديم المنتج. الفقرات القادمة كلها تفترض أن جميع زبائنك يبحثون عن نتائج حقيقية، وصحيحة، وصالحة، ومفهومة على أقل تقدير.

إن قبول مشروع النمذجة بنظام المعلومات الجغرافيّة هو الخطوة النهائيّة وربما هي الخطوة الأكثر أهمية في هذه العمليّة. إذا كنت تعمل لعملاء، فإن ما يدفعوه لك من الممكن جداً أن يكون متوقف على مدى قبولهم لما تقدمه لهم. ورغم أن العديد من العملاء يكونون راضين إذا كان النموذج يقدم النتائج التي قد تعاقدت معهم عليها - إلا أن هذا الرضى سوف يتناقص أكثر فأكثر متى ما زادت معرفة العملاء بنظم المعلومات الجغرافيّة. إن التحقق من النموذج لا يزال أكثر أهمية، أما قبول النموذج فهو ليس بذات الأهمية لك كمصمم نماذج. وعليه، فإن ما يهمك أكثر هو كيف يحاكي نموذجك البيئة، خاصة إذا كان العملاء مطلعين على بيئتهم.

إن تقديم اختبارات لنتائج النموذج، خاصة في حضور العملاء، ربما يكون أفضل طريقة لطمأنتهم بأنك توفر منتجا مفيداً. وعلى أي حال، هذا بحد ذاته لا يكفي، لا سيما إذا لم تكن أنت المشغل الرئيس للنموذج. قد يُطلب منك ليس توفير النموذج نفسه فقط، بل، أيضاً، مجموعات البيانات المناسبة، والأكثر أهمية هو توفير واجهة مستخدم تفاعليّة التي تتطلب القليل من التدريب للمشغلين غير المختصين في نظم المعلومات الجغرافيّة في مكتب عميلك. يفترض أن تكون الواجهة، بحكم الضرورة، قادرة على توقع أنواع من الأسئلة المتكررة التي سوف يطرحها العملاء على النموذج ليستطيع - بعدئذ - تنفيذ مهامه في تقديم الإجابات. قد ترغب، في بعض الحالات، أيضا، أن تجعل النموذج قادراً من خلال الواجهة التفاعليّة على طرح أسئلة غير اعتيادية والتي قد تكون إجاباتها مفيدة في ظروف محدّدة. قد ترغب، بالمقابل، في توقع مثل هذه الأسئلة (غير الاعتيادية) لكنك لا تقدم شيئاً حيالها ما لم يكن مطلوباً منك حسب الاتفاق التعاقدي مع العملاء. عادةً ما يكون هذا هو المتبع بحيث تتمكن من العمل

بصورة منظمة وواضحة مع العملاء ممّا يمكنك من توفير خدمات إضافية. هذا يقودنا أكثر إلى قضايا في تصميم التطبيقات خارج نطاق الهدف من هذا الكتاب.

ينبغي، في كل الأحوال، أن تكون واجهة المستخدم التفاعليّة واضحة بحيث تفسر نفسها بنفسها وسهلة الاستخدام. وينبغي، أيضاً، أن يكون لها القدرة على اختيار مجموعات البيانات الملاءمة وأداء المهام النمذجية – بعد ذلك – دون أن يحتاج المستخدم لمعرفة حقيقة ما يحصل داخل البرمجيات. ومع ذلك، فعندما تسلّم النموذج وواجهته التفاعليّة فإنه من المناسب أن يشتمل، كحد أدنى، مجموعة من التخطيطات أو الرسوم البيانانية التوضيحية التي تفسر، بعبارات عامة، ما الذي سوف يفعله النموذج عند الضغط على زر معين أو تحريك شريط التمرير أو الإنزلاق (Slide bar). كما ينبغي أن تدرج، أيضاً، كل من مخططات العمل الإنسيابية للنموذج وصيغه في النموذج أو التطبيق، ربما في شكل ملحق أو وثيقة منفصلة. هذا يسمح للمستخدمين بفحص كيفية عمل النموذج إذا كانت لديهم أسئلة أساسية عن النتائج التي يقدمها. ويمكن توفير تفاصيل أكثر لكن الأفضل أن تُقدَّم عند الطلب فقط.

على الرغم من أننا، هنا، نفترض أن العملاء يريدون من النموذج أن ينفذ مهامه بطرائق صالحة – إلا أن نتائج النمذجة قد لا تعطيهم الإجابات التي يريدونها. وباستحضار الهدف الرئيس لمعظم المهام النمذجية بنظم المعلومات الجغرافيّة وهو توفير أدوات صنع قرار مكانيّة، فإنه ينبغي أن تعلم أنه حتى النماذج الصالحة قد تكون غير مقبولة للعملاء، خاصة إذا كانت أجندتهم أو أهدافهم هي شيئ آخر أكثر من مجرد صنع قرار عقلاني محض. فإذا كانت عمليّة صنع القرار لديهم تقوم بشكل كبير على دوافع سياسية (أو إدارية) أكثر ممّا تقوم على الواقع المكاني، فقد تحتاج – عندئذ – إلى تعديل بعض الجوانب في النموذج لتشمل عوامل أخرى أو تعطي أوزاناً لبعض الجوانب أكثر من غيرها. ورغم أن هذا كان ينبغي أن يُؤسس له جيداً عند عمليّة تصور النموذج وصياغته –إلا أن هذا لا يحدث، في بعض الأحيان، وعليه يتعيّن عمل تعديلات.

ثمة جانب آخر لمقبولية نموذج نظام المعلومات الجغرافيّة وهو ما يتعلق بالزمن (مدة التنفيذ) أكثر من عمليّة النمذجة نفسها. فإذا كنت قد قدمت نموذجاً للمواقع المحتملة لدفن النفايات، لكنك قدمته بعد أن تم شراء تلك المواقع لاستخدامات بديلة، فإن نموذجك في هذه الحالة قد يفتقر لعنصر الزمن اللازم لأن يكون ذا فائدة للعملاء بوصفه أداةً لصنع القرار. بالإضافة إلى ذلك، إذا كان النموذج يعمل فقط مع بيانات ليست متاحة بعد، فإن هذا، أيضاً، من المحتمل أن يلغي فائدته، ومن ثمّ قبول العملاء له. ينبغي أن يذكرك هذا بأن القيود الزمنية المتعلقة بتاريخ تسليم النموذج يجب تحديدها بوضوح في وقت مبكر من عمليّة النمذجة ذاتها.

تشير هذه المسألة الأخيرة، أيضاً، إلى عامل واحد نهائي يمكن أن يسبب صعوبة في الحصول على قبول العميل لمنتجك النهائي – ذلك هو البيانات المفقودة أو الناقصة. سبق وأن ناقشنا طرائق للتخفيف من حدة هذه المشكلة عن طريق إسناد بدائل كلما أمكن ذلك، أو وضع عوامل غير مكانيّة (وصفيّة) في مكانها. وعلى أي

حال، هناك العديد من الحالات عندما تظل، وستبقى، عوامل معينة ناقصة في نموذجك. ماذا تفعل هنا؟ لا توجد إجابات جاهزة لما يبدو أنه سؤال بسيط. ربما لاحظت من مقال وليامز (١٩٨٥) أن هناك زوج من العوامل المفقودة لذلك النموذج. ومع أن نموذج ليسا قد طُوِّر كتمرين أكاديمي، إلا أنه قد يكون - وهذا محتمل - نتيجةً لطلب من عميل حقيقي لأنه استخدم بيانات حقيقية لمنطقة دراسة حقيقية. لعل الاقتراح الأول الذي يمكنني تقديمه هو: لا تخفي حقيقة إن البيانات ناقصة. فعندما تكون هناك عمليّة صنع قرارات حقيقية مطلوب تنفيذها، خاصة إذا كانت تنطوي على ممتلكات حقيقية، فإن هناك دائماً إمكانيّة وجود تقاضٍ. تشمل العديد من نماذج نظم المعلومات الجغرافيّة في مكان ما، إما ضمن الوثائق وإما في تصريح أو تقرير منفصل، فقرةً صريحةً تفيد أن هناك بيانات ناقصة في النموذج وأنك كمصمم للنموذج لست مسؤولاً عن القرارات التي تتخذ على أساس النموذج أو، أكثر تحديداً، عن القرارات المبنيّة بدرجة كبيرة على العوامل (التحليلية) التي لا يوجد لها بيانات في النموذج.

ينبغي أن يكون هناك وسيلة لتجنب هذه المشكلة قبل وقوعها. وما إن تبدأ عمليّة النمذجة، فإنه من غير المرجح أنك لن تكون على علم مسبق بأن بعض البيانات سوف تكون ناقصة. فما إن تعلم بالمشكلة، يجب عليك أن تخطر العملاء وتطلب منهم اقتراحات قبل المضي قدماً في العمل. قد يضر هذا بمصداقيتك بدرجة بسيطة، لكن هذا الضرر أقل بكثير ممّا لو انتظرت حتى تسليم المنتج النهائي. فإذا كان العملاء على علم بالبيانات الناقصة، فإنهم قد يكونون قادرين على توفير معلومات أساسية من شأنها المساعدة في تنفيذ تعديل معين أو حتى عمل بدائل. هذا يشير إلى أن عمليتي تصور النموذج وصياغتة، قبل تنفيذه، هما أفضل وقت لاكتشاف مثل هذه المشكلات. كثير من العملاء، وخاصة المبتدئون في نظم المعلومات الجغرافيّة، سوف ينظرون إلى نظام المعلومات الجغرافيّة باعتباره حلاً شافياً، لكنك، كمنمذج، عليك أن تدرك جيدا أنه ليس كذلك. من الأفضل أن تبدد هذه الأسطورة في وقت مبكر قبل المضي قدما في توفير أكثر النماذج صحة، وأكثرها صلاحية، وأكثرها أناقة ضمن حدود قدرات البرنامج ومعرفتك بالبيئة قيد النمذجة، والبيانات المتاحة. وطالما أنك تأخذ في الاعتبار أن أهدافك هي توفير دعم اتخاذ القرار (وليس قرارات) للعملاء واطلاعهم عن وجود صعوبات أو قيود محتملة، فإنك بذلك تكون قادراً على توفير أحد أفضل دعم القرار فائدة لعمليّة صناعة القرار المكاني.

مراجعة الفصل

لن يكون لنموذج نظام المعلومات الجغرافيّة فائدة كبيرة إذا لم يوفر للعميل دعماً لصنع القرار، حتى لو كنت أنت العميل. تتطلب القرارات من نموذج نظام المعلومات الجغرافيّة أن ينفذ النظامُ أو البرنامجُ الخوارزمياتِ بشكل صحيح، وأن الخوارزميات تمثّل الصفات والعمليات البيئيّة قيد المحاكاة بدرجة كبيرة، وأن يكون النموذج مقبولاً للعميل في الشكل والمضمون على حد سواء. اهتم هذا الفصل بخاصيتين أساسيتين لصحة النموذج - تحليل إمكانيّة

التحقق حسابياً من النموذج وإمكانيّة صلاحيته كنموذج صحيح للبيئة. بالإضافة إلى ذلك، بحث الفصل في مقبولية النموذج للعميل من ناحية كون النموذج أداةً سهلة الاستخدام وإنه يقدّم فعلاً إجابات تدعم عمليّة صنع القرار.

إن التحقق من نموذج نظم المعلومات الجغرافيّة هو مقياس لمدى صحة النموذج في تنفيذ الخوارزميات المقبولة للمهام الحسابيّة الداخلية التي عادةً ما يقوم بها. وتتطلب هذه العمليّة ثلاث خطوات والتي ينبغي تقييمها قبل الاختبار: تحديد ما هي الخوارزميات التي ينبغي اختبارها، واختيار أجزاء من قاعدة البيانات التي يحتمل أن تظهر الآثار المترتبة على الخطأ، وتحديد الحجم الصحيح للعينة الفرعيّة لفحصها. يمكن تنفيذ الاختبار سواء من خلال إجراء اختبارات يدوية ومقارنتها مع نظيراتها الآلية، أو، وهذا في حالة دراسة ثبات النموذج، عن طريق أداء الاختبارات عدة مرات على جزء مختار سلفاً من قاعدة البيانات ومطابقة النتائج باستخدام عمليّة طرحية. في الحالة الأخيرة، إذا كانت النتائج متسقة، ينبغي لها أن تسفر عن شبكة (خلوية) تتألف كلياً من الأصفار.

أما التحقق (التثبت) من صلاحية نموذج نظام المعلومات الجغرافيّة فهو مقياس لمدى كفاءة تمثيل النموذج وخوارزمياته للبيئة الفعليّة. قد تتطلب هذه العمليّة التحقق من النتائج ميدانياً للعمليات الحقيقية، أو أنها قد تطبق النموذج في موقعين مختلفين لاختبار قدرته على العمل في بيئات مختلفة.

وبافتراض أن العميل يرغب في أن يكون النموذج متسقاً مع المعايير الحقيقية وبيئات العالم الحقيقي بدلاً من أن يكون وسيلة سياسية فقط، فإن قبوله قد يتوقف - إلى حد كبير - على قدرته على استنساخ الواقع بنجاح، ومن ثمّ توفير إجابات صحيحة لصانعي القرار. هذا، على أي حال، لا يكفي لجعل النموذج مقبولاً. فالنموذج يجب، أيضاً، أن يكون بسيطاً بما يكفي لتفسيره للعميل، ولو بشكل عام على الأقل. وبصفة عامة، كلما كان شرح أو تفسير النموذج أبسط، زادت احتمالية قبوله لدى العملاء، خاصة إذا كان العميل لا يتقن نظم المعلومات الجغرافيّة. ينبغي أن يشتمل النموذج، أيضاً، على واجهة مستخدم بيانية تفاعليّة ملاءمة إذا كان العميل أو مشغلو نظام المعلومات الجغرافيّة سوف يستخدمونه للتحليل. وعندما يكون النموذج في شكله النهائي مقبولاً لدى العميل فإنه عندها فقط نستطيع أن نقول أن عمليّة النمذجة انتهت.

مواضيع المناقشة

١- في إطار النمذجة بنظام المعلومات الجغرافيّة، ما الفرق بين التحقق من النموذج والتثبت من صلاحيته؟

٢- اشرح بعض المنهجيات الأساسية المذكورة في هذا الكتاب للتحقق من النموذج. هل تستطيع أن تقترح وسائل أخرى لتنفيذ كل منها؟ ابدأ بتجميع مجموعة من المراجع التي تفصّل وتشرح المنهجيات الأخرى.

٣- إذا كنت لا تعرف خوارزمية لعمليّة معينة داخل نظام المعلومات الجغرافيّة الخلوي الخاص بك، اقترح السبل التي يمكن أن تعينك على اكتشاف هذا، لا سيما إذا كانت الخوارزمية ذات ملكية خاصة وأن البائع لن يشرحها لك. تلميح: فكر في تعريف مصطلح "الهندسة العكسية".

٤- اشرح بعض المنهجيات الأساسية للتثبت من صلاحية النموذج المذكورة في هذا الكتاب. هل تستطيع العثور على أمثلة ملموسة في المراجع غير تلك الموجودة في الكتاب؟ ابدأ بجمع قائمة بالمراجع التي شرحت أساليب أخرى غير التي ذُكرت في الكتاب.

٥- صف بإيجاز ما المقصود باقتصاد نموذج نظام المعلومات الجغرافيّة. لماذا نحتاج أصلاً إلى أن ننظر في اقتصاد النموذج؟

٦- ما القياسات الأساسية للاقتصاد المذكورة في هذا الكتاب؟ ناقش هذه القياسات مع زملائك أو مع مهنيين آخرين. هل هناك قياسات أخرى غيرها؟

٧- تحت أيّ ظروف يمكن أن يكون العميل على استعداد لقبول نموذج نظام المعلومات الجغرافيّة حتى لو ثبت أن النموذج لا يمكن التحقق منه أو أنه غير صالح؟ هل يمكن أن تقدم تفصيلاً لحالات محدّدة لاحظت فيها هذا بنفسك؟

٨- إذا انتجت نموذجاً صالحاً وبشكل يمكن التحقق منه لأحد العملاء، فما الذي قد يجعل العميل متردداً في قبول نموذجك ويدفع لك أجور خدماتك؟

٩- ما الظروف التي قد تجعلك تحذف قدرات وظيفية محدّدة من نموذج نظام المعلومات الجغرافيّة؟

أنشطة تعليمية

١- حمّل قاعدة بيانات نموذج ليسا، إذا لم تفعل ذلك بعد، من موقع وايلي على الإنترنت: www.wiley.com/college/geog/demers314234/، ثم اختر ثلاث أو أربع خوارزميات بسيطة لاختبار جزء صغير من قاعدة البيانات والتي على أساسها سوف تتحقق من أن الخوارزميات تنفذ العمل بطريقة صحيحة. حاول أن يشمل اختيارك على الأقل طريقة عمل نطاق (حزام) واحد وطريقة مطابقة واحدة. الآن نفّذ العمليات اليدوية لتحصل على مجموعة نتائج مرجعية تختبر الخوارزمية على أساسها. استخدم برنامجك لإجراء العمليات على قاعدة البيانات بأكملها. اختبر الآن إمكانية تطابق نتائج الخلايا المختارة التي قيمتها يدويا مع تلك المُخرجة من حزمة نظام المعلومات الجغرافيّة الخاصة بك.

٢- قم بعمل نطاق، باستخدام قاعدة بيانات نموذج ليسا، حول شبكة خطوط الماء ويمكن أن تستخدم أي قيم تريد. أطلق على النتائج اسم: "اختبار ١". الآن نفّذ نفس العمليّة مرة أخرى على نفس شبكة خطوط الماء. اعطِ النتيجة اسم: "اختبار ٢". قم الآن بعمليّة مطابقة طرحية. ماذا كانت النتيجة؟ اقترح أنواعاً أخرى من المطابقات التي يمكن تطبيقها، أيضاً، لفحص تكراريّة العمليّة.

٣- من خلال استخدام قاعدة بيانات نموذج ليسا وطريقة واحدة أو أكثر من طرائق التثبت من صلاحية النموذج التي وردت في هذا الفصل، حدّد طريقة منطقيّة للتثبت من صلاحية النموذج. لعمل ذلك، قد تحتاج إلى

وضع بعض الافتراضات حول كيفيّة عمل الأشياء في مقاطعة دوغلاس، بولاية كانساس. وكبديل لذلك، أدرس بعض النماذج في المراجع الأدبية واقترح كيف يمكن أن تختبر هذه الافتراضات باستخدام الأساليب المقترحة في هذا الكتاب. وإذا توفر لديك الوقت، حاول الحصول على قواعد البيانات من المؤلفين (لتلك المراجع) لمعرفة إمكانية اختبار صلاحيتها.

٤- أنشئ مخططاً انسيابياً لجزء تقييم الموقع من نموذج ليسا. قارن مخططك هذا مع مخططات الآخرين في فصلك أو المؤسسة التي تعمل فيها. شغّل النماذج واختبرها من منظور الاقتصاد.

٥- أنشئ واجهة مستخدم تفاعليّة باستخدام برنامجك وقاعدة بيانات نموذج ليسا بحيث تسمح للمخططين بتنفيذ عمليّة تحليل معاود أو متكرر للظروف لجزء تقييم الموقع من نموذج ليسا. ونظراً إلى ضيق الوقت، فإنك قد لا تكون قادراً على استكمال هذه المهمة لجميع العمليات، أو لجميع الحالات، أو الظروف الممكنة، ولتبسيط المهمة، اختر اثنين أو ثلاثة فقط من الاستخدامات الأرضية الممكنة، وركّز على جزء واحد من قاعدة البيانات.

المراجع
References

Agee, J.K., et al. 1989. "A Geographical Analysis of Historical Grizzly Bear Sightings in the North Cascades." *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing* 55(11):1637–1642.

Algarni, A.M., 1996. "A System with Predictive Least-Squares Mathematical Models for Monitoring Wildlife Conservation Sites Using GIS and Remotely Sensed Data." *International Journal of Remote Sensing* 17(13):2479–2503.

Aspinall, R.J., 1994. "Exploratory Spatial Analysis in GIS: Generating Geographical Hypotheses from Spatial Data." *Innovations in GIS* 1:139–147.

Band, L.E., 1989a. "Automating Topographic and Ecounit Extraction from Mountainous Forested Watersheds." *AI Applications in Natural Resource Management* 3(4):1–11.

Band L.E., 1989b. "Spatial Aggregation of Complex Terrain." *Geographical Analysis* 21(4):279–293.

Band, L.E., 1989c. "A Terrain-Based Watershed Information System." *Hydrological Processes* 3(2):151–162.

Band, L.E., 1993. "Extraction of Channel Networks and Topographic Parameters from Digital Elevation Data," pp 13–42. In *Channel Network Hydrology,* Bevin, K , (Ed), New York: John Wiley & Sons.

Battad, D.T., 1993. "Integration of Geographic Information Systems with Simulation Models for Watershed Erosion Prediction," Ph.D. dissertation, Texas A&M University, DAI, vol. 54–11B, p 5468.

Batty, M., and Xie, Y., 1994. "From Cells to Cities." *Environment and Planning B:Planning & Design* 21:531–548.

Berry, J.K., 1997. *Spatial Reasoning for Effective GIS,* New York: John Wiley & Sons.

Berry, J.K., 1993. "Cartographic Modeling: The Analytical Capabilities of GIS," pp. 58–74, In *Environmental Modeling With GIS,* M.F., Goodchild, B.O. Parks, and Louis T. Steyaert, Eds., New York: Oxford University Press.

Berry, J.K., 1987. "Fundamental Operations in Computer-Assisted Map Analysis." *International Journal of Geographical Information Systems* 1(2):119–136.

Berry, J.K., 1995. *Spatial Reasoning for Effective GIS.* GIS World Books. Fort Collins, Colorado.

Boerner, R.E.J., DeMers, M.N., Simpson, J.W , Artigas, F.J., Silva, A., and Berns, L.A., 1996. "A Markov Chain Model of Land Use Inertia and Dynamism on Two Contiguous Ohio Landscapes." *Geographical Analysis* 28(1):56–66.

Brown, S., Schreier, H., Thompson, W.A., and Vertinsky, I., 1994. "Linking Multiple Accounts with GIS as Decision-Support System to Resolve Forestry Wildlife Conflicts." *Journal of Environmental Management* 42(4):349–364.

Burrough, P.A., and McDonnell, R.A., 1998. *Principles of Geographical Information Systems,* New York: Oxford University Press.

Carrara, P., Madella, P., Miuccio, A., and Rampini, A., 1996. "GRID: A Geographic Raster Image Database to Support Fire Risk Evaluation in Mediterranean Environment," pp. 289–300. In *Courses and Lectures—International Centre forMechanical Sciences.* New York: Spinger-Verlag.

Carver, S.J., 1991. "Integrating Multi-Criteria Evaluation with Geographical Information Systems. *International Journal of Geographical Information Systems* 5(3):321–339.

Chang, K., Verbyla, D.L., and Yeo, J.J., 1995. "Spatial Analysis of Habitat Selection by Sitka Black-Tailed Deer in Southeast Alaska, USA." *Environmental Management* 19(4):579–589.
Chase, S.B., 1991. "The Integration of Hydrologic Simulation Models and Geographic Information Systems," Ph.D. dissertation, University of Rhode Island, DAI, vol. 52–08B, p. 4354.
Childress, W.M., Rykiel, Jr., E.J., Forsythe, W., Li, B., and Wu, H., 1996. "Transition Rule Complexity in Grid-Based Automata Models." *Landscape Ecology* 11(5)257– 266.
Chrisman, N.R., 1997. *Exploring Geographic Information Systems*, New York: John Wiley & Sons.
Clark, K.C., 1999. *Getting Started with Geographic Information Systems*. Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall.
Clark, J.D., Dunn, J.E., and Smith, K.G., 1993. "A Multivariate Model of Female Black Bear Habitat Use for a Geographic Information System." *Journal of Wildlife Management 57(3):519–526.*
Costanza, R., and Maxwell, T., 1991. "Spatial Ecosystem Modelling Using Parallel Processors." *Ecological Modelling* 58:159–183.
Coulombe, S., and Lowell, K., 1995. "Ground-Truth Verification of Relations between Forest Basal Area and Certain Ecophysiographic Factors Using a Geographic Information System." *Landscape and Urban Planning* 32(2):127–136.
Coulson, R.N., Folse, L.J., and Loh, D.K., 1987. "Artificial Intelligence and Natural Resource Management." *Science* 237:262–267.
Cromley, R.G., and Hanink, D.M., 1999. "Coupling Land Use Allocation Models with Raster GIS." *Journal of Geographical Systems* 1(2):137–153.
Davis, J.R., 1981. "Weighting and Reweighting in SIRO-PLAN." Canberra: CSIRO, Institute of Earth Resources, Division of Land Use Research, Technical Memorandum 81/2.
DeMers, M.N., 2000a. *Fundamentals of Geographic Information Systems*, 2nd ed.: New York: John Wiley & Sons.
DeMers, M.N., 2000b. *Exercises in GIS*. New York: John Wiley & Sons.
DeMers, M.N., 1992. "Resolution Tolerance in an Automated Forest Land Evaluation Model." *Computers, Environment and Urban Systems* 16:389–401.
DeMers, M.N., 1989. "Knowledge Acquisition for GIS Automation of the SCS LESA Model: An Empirical Study." *AI Applications in Natural Resources* 3(4):12–22.
DeMers, M.N. 1985. "The Formulation of a Rule-Based GIS Framework for County Land Use Planning, Lawrence, Kansas," unpublished Ph.D. dissertation.
DeMers, M.N., Simpson, J.W., Boerner, R.E.J., Silva, A., Berns, L.A., and Artigas, F.J., 1996. "Fencerows, Edges, and Implications of Changing Connectivity: A Prototype on Two Contiguous Ohio Landscapes." *Conservation Biology* 9(5):1159–1168.
Desmet, P.J.J., 1997. "Effects of Interpolation Errors on the Analysis of DEMs." *Earth Surface Processes and Landforms* 22:563–580.
Duncan, B.W., Breininger, D.R., Schmalzer, P.A., and Larson, V.L., 1995. "Validating a Florida Scrub Jay Habitat Suitability Model, Using Demography Data on Kennedy Space Center." *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing* 61(11):1361–1370.
Dunn, W.C., 1996 "Evaluating Bighorn Habitat: A Landscape Approach." Department of Game and Fish, State of New Mexico, Technical Note 395, BLM/RS/ST- 96/005+6600.
Eck, J.E., 1998. "What do Those Dots Mean? Mapping Theories with Data," pp. 379–406. In *Crime Mapping & Crime Prevention Crime Prevention Studies* (vol. 8), D. Weisburd and T. McEwen, Eds., Monsey, NY: Criminal Justice Press.
Edwards, B. 1979. *Drawing on the Right Side of the Brain*. New York: Houghton Mifflin. Environmental Systems Research Institute Staff, 1994. *Cell-Based Modeling with GRID*, Redlands, CA: ESRI.
Erdas Imagine Version 8.4 Tour Guides, Atlanta, Georgia.
Environmental Systems Research Institute, 2000. Using Model Builder. Redlands, CA.
Federal Geographic Data Committee, 1992. *Manual of Federal Geographic Data Products*. Washington, D.C.: Environmental Protection Agency, Office of Information Resources Management.
Fisher, P.F., 1996. "Reconsideration of the Viewshed Function in Terrain Modeling." *Geographical Systems* 3:33–58.
Fisher, P.F., 1995. "An Exploration of Probable Viewsheds in Landscape Planning." *Environment and Planning B: Planning and Design*, 22:527–546.
Fisher, P.F., 1991. "Modelling Soil Map-Unit Inclusions by Monte Carlo Simulation." *International Journal of Geographical Information Systems* 5(2):193–208.
Fisher, P., and Wood, J., 1998. "What is a Mountain? Or the Englishman Who Went up a Boolean Geographical Concept But Realized it was Fuzzy," *Geography* 83(3):247–256.

Forman, R.T.T., 1995. *Land Mosaics: The Ecology of Landscapes and Regions.* Cambridge: Cambridge University Press.
Gardner, M 1970. "The Fantastic Combinations of John Conway's New Solitaire Game 'Life.'" *Scientific American* 223(4):120–123.
Gardner, M. 1971. "On Cellular Automata, Self-Reproduction, the Garden of Eden and the Game of 'Life.'" *Scientific American* 224(2):112–117.
Gros, S.L., Williams, T.H.L , and Thompson, G., 1988. "Environmental Impact Modelling of Oil and Gas Wells Using a GIS." *Technical Papers of the ACSM/ASPRS,* vol. 5:216–225.
Haddock, G., and Jankowski, P., 1993. "Integrating Nonpoint Source Pollution Modelling with a Geographic Information System." *Computers, Environment, and Urban Systems,* 17:437–451.
Harris, S., 1997. "Evaluating Possible Human Exposure Pathways to Populations Relative to Hazardous Materials Sites." Proceedings, Seventeenth Annual ESRI User Conference, Palm Springs, California.
Heuvelink, G., and Burrough, P. 1993. "Error Propagation in Cartographic Modelling Using Boolean Logic and Contuous Classification," *International Journal of Geographical Information Systems* 7(3):231–246.
Heuvelink, G., Burrough, P.A., and Stein, A., 1989. "Propagation of Errors in Spatial Modelling with GIS." *International Journal of Geographical Information Systems* 3(4):303–322.
Heywood, I., Cornelius, S., and Carver, S., 1998. *An Introduction to Geographical Information Systems,* Essex: Addison Wesley Longman.
Hilborn, R., 1979. "Some Long Term Dynamics of Predatory–Prey Models with Diffusion." *Ecological Modelling* 6(1):23–30.
Hodgson, M.E., and Gaile, G.L., 1999. "A Cartographic Modeling Approach for Surface Orientation-Related Applications. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing* 65(1):85–95.
Hogeweg, P 1988. "Cellular Automata as a Paradigm for Ecological Modelling." *Applications of Mathematics and Computing* 27:81–100.
Hopkins, L.D , 1977. "Methods for Generating Land Suitability Maps: A Comparative Evaluation." *American Institute of Planners Journal* 43.386–400.
Ive, J.R., and Cocks, K.D., 1983. "SIRO-PLAN and LUPLAN: An Australian Approach to Land Use Planning. 2. The LUPLAN Land-Use Planning Package." *Environment and Planning B: Planning and Design* 10(3):347–355.
Ive, J R , and Cocks, K.D., 1989. "Incorporating Multi-Party Preferences into Land Use Planning." *Environment and Planning B: Planning and Design* 16:99–109.
Iverson, D.C. & R.M. Alston, 1986. "The Gensis of FORPLAN. A Historical and Analytical Review of Forest Service Planning Models," Intermountain Research Station. USDA Forest Service. General Technical Report. INT-214.
Jenny, H., 1941. *Factors of Soil Formation.* New York: McGraw-Hill.
Jensen, J.R., 2000. *Remote Sensing: An Environmental Perspective.* Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall.
Jenson, S.K., and Domingue, J.O., 1988. "Extracting Topographic Structure from Digital Elevation Data for Geographic Information System Analysis," Photogrammetric Engineering and Remote Sensing 54(11):1593–1600.
Johnston, K.M., 1992. "Using Statistical Regression Analysis to Build Three Prototype GIS Wildlife Models." Proceedings, GIS/LIS' 92, San Jose, ASCM-ASPRS-URISA-AM/FM, 1 374–386.
Kelly, G.A. (1955). *The psychology of personal constructs.* New York: Norton.
Kemp, K.K., 1993. "Spatial Databases· Sources and Issues," pp. 361–371. In *Environmental Modeling with GIS,* M.F. Goodchild, B.O. Parks, and Louis T. Steyaert, Eds., New York: Oxford University Press.
King, A.W., Johnson, A.R., and O'Neill, R.V., 1991. "Transmutation and functional representation of heterogeneous landscapes." *Landscape Ecology* 5(4):239–253
Konikow, L.F., and Bredehoeft, J.D., 1978. "Computer Model of Two-Dimensional Solute Transport and Dispersion in Ground Water, USGS Techniques of Water Resources Investigations," book 7, chapter C2, Washington, D.C.: U.S. Geological Survey.
Lesser, T., Wei-Ning, X., Furuseth, O., McGee, J., and Lu, J., 1991. "Conflict Prevention in Land Use Planning Using a GIS-Based Support System." *GIS/LIS Proceedings* 1:478–483.
Leung, Y. 1988. *Spatial Analysis and Planning Under Imprecision.* Amsterdam. Elsevier Science Publishers B.V.
Leung, Y. and Leung, K., 1993. "An Intelligent Expert Systems Shell for Knowledge-Based Geographical Information Systems: I. The Tools." *International Journal of Geographical Information Systems* 7(3):189–199.
Lillesand, T.M., and Kiefer, R.W., 2000. *Remote Sensing and Image Interpretation,* 4th ed., New York: John Wiley & Sons.

Liu, P., 1998. "A Probabilistic GRID Automation of Wildfire Growth Simulation," Ph.D. dissertation, University of California, Riverside. DAI, vol. 59-09A, p. 3591 (206 pp.).
Lowell, K. 1991. "Utilizing Discriminant Function Analysis with a Geographical Information System to Model Ecological Succession Spatially." *International Journal of Geographical Information Systems* 5(2):175–191.
Luckey, D., and DeMers M.N., 1986–1987. "Comparative Analysis of Land Evaluation Systems for Douglas County." *Journal of Environmental Systems* 16(4):259–278.
Mackay D.S., Robinson, V.B., and Band, L.E., 1992. "Classification of Higher Order Topographic Objects on Digital Terrain Data." *Computers, Environment & Urban Systems* 16(6):473–496.
Mandelbrot, B.B., 1988. *Fractal Geometry of Nature*. W.H. Freeman.
Marble, D.F 1994. "An Introduction to the Structured Design of Geographic Information Systems," pp. In *The AGI Source Book for GIS*, D. Green and D. Rix, Eds. London: Association for Geographical Information and John Wiley & Sons.
Marble, D.F., 1995. An Introduction to the Structured Design of Geographic Information Systems, pp. 31–38 in (Source Book, Association for Geographic Information). London: John Wiley & Sons, Inc.
Mark, D.M., 1988. "Network Models in Geomorphology," pp. In *Modelling in Geomorphological Systems*, New York: John Wiley & Sons.
Martin, D , 1996. "An Assessment of Surface and Zonal Models of Population." *International Journal of Geographical Information Systems* 10(8):973–989.
McGarigal, K. and Marks, B.J., 1994. FRAGSTATS, Spatial Analysis Program for Quantifying Landscape Structure, version 2. Corvallis: Oregon State University, Forest Science Department.
Mattikalli, N.M , 1995. "Integration of Remotely-Sensed Raster Data with a Vector-based Geographical Information System for Land-Use Change Detection," *International Journal of Remote Sensing*, 16(15):2813–2828.
Meaille, R., and Wald, L., 1990. "Using Geographical Information Systems and Satellite Imagery within a Numerical Simulation of Regional Urban Growth." *International Journal of Geographical Information Systems* 4(4):445–456.
Miller, R.I , Stuart, S.N., and Howell, K.M., 1989. "A Methodology for Analyzing Rare Species Distribution Patterns Utilizing GIS Technology: The Rare Birds of Tanzania." *Landscape Ecology* 2(3):173–189.
Miyamoto, H., and Sasaki, S., 1997. "Simulating Lava Flows by an Improved Cellular Automata Method." *Computers & Geosciences* 23(3)283–292.
Muehrcke, P., and Muehrcke, J., 1998. *Map Use: Reading, Analysis and Interpretation*, 4th ed., Madison, WI: JP Publications
Nelson, M.D., and Lunetta, R.S., 1987. "A Test of 3 Models of Kirtland's Warbler Habitat Suitability." *Wildlife Society Bulletin* 24:89–97.
Park, S., 1996. "Integration of Cellular Automata and Geographic Information Systems for Modeling Spatial Dynamics," Ph.D. dissertation, University of South Carolina, DAI, vol. 57-03B, p. 1684 (205 pp).
Parrat, L.G., 1961. *Probability and Experimental Errors*, New York: John Wiley & Sons.
Pereira, J.M., and Itami, R.M., 1991. "GIS-Based Habitat Modeling Using Logistic Multiple Regression: A Study of the Mt. Graham Red Squirrel." *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing* 57(11):1475–1486.
Pereira, J.M.C., and Duckstein, L., 1993. "A Multiple Criteria Decision-Making Approach to GISBased Land Suitability Evaluation." *International Journal of Geographical Information Systems* 7(5):407–424.
Philip, G.M., and Watson, D.F., 1982. "A Precise Method for Determining Contoured Surfaces." *Australian Petroleum Exploration Association Journal* 22:205–212.
Portugali, et al. 1994, "Sociospatial Residential Dynamics: Stability and Instability Within a Self-Organizing City," *Geographical Analysis*, 26(4):321–340.
Raju, K.A., Slikdar, P.K., and Dhingra, S.L., 1998. "Micro-simulation of Residential Location Choice and its Variation." *Computers, Environment, and Urban Systems* 22(3):203–218.
Robinson, V.B., 1990 "Interactive Machine Acquisition of a Fuzzy Spatial Relation." *Computers and Geosciences* 16(6):857–872.
Robinson, A.H., Morrison, J.L., Muehrcke, P.C., Kimerling, A.J., and Guptill, S.C., 1995. *Elements of Cartography*, 6th ed., New York: John Wiley & Sons.
Sauer, C.O., 1925. "Morphology of Landscapes," pp. 315–350. In: *Land & Life*, J. Leighly, Ed., Berkeley: University of California Press, 1963.
Schuster, S.A., 1973. "Locating Optimal Sites in Geographic Information Systems." Ph.D. dissertation, University of Illinois at Urbana-Champaign, DAI, 34-09B:.4328.
Scott, M.S., 1997. "Extending Map Algebra Concepts for Volumetric Geographic Analysis," Proceedings, *GIS/LIS '97 International Conference*, Cincinnati, pp. 309–315.

Shaffer, C.A., Samet, H., and Nelson, R.C., 1990. "QUILT: A Geographic Information System Based on Quadtrees." *International Journal of Geographical Information Systems* 4(2):103–131.
Shannon, C.E., and Weaver, W., 1949. *A Mathematical Theory of Communication.* Urbana, Il: University of Illinois Press.
Shreve, R.L., 1966. "Statistical Law of Stream Number." *Journal of Geology* 74:17–37.
Stoms, D.M., 1996. "Validating Large-Area Land Cover Databases with Maplets." *Geocarto International* 11(2):87–95.
Strahler, A.N., 1957. "Quantitative Analysis of Watershed Geomorphology." *Transactions of the American Geophysical Union* 8(6):913–920.
Takeyama, M., and Couclelis, H., 1997. "Map Dynamics: Integrating Cellular Automata and GIS Through Geo-Algebra." *International Journal of Geographical Information Science* 11(1):73 91.
Tarboton, D.G., Bras, R.L., Rodriguez-Iturbe, I, 1991. "On the Extraction of Channel Networks from Digital Elevation Data." *Hydrological Processes* 5:81–100.
Tauxe, J.D., 1994. "Porous Medium Advection-Dispersion Modeling in a Geographic Information System." Ph.D. dissertation in civil engineering. Austin: University of Texas.
Taylor, J.R., 1982. *An Introduction to Error Analysis,* Oxford· Oxford University Press.
Theobald, D., and Gross, M D., 1994. "EML. A Modeling Environment for Exploring Landscape Dynamics." *Computers, Environment & Urban Systems* 18(3):193–204.
Thomas, E.N., 1964. "Maps of Residuals from Regression," pp. 326–352. In *Spatial Analysis: A Reader in Statistical Geography,* B.J.L. Berry and D.F. Marble, Eds., Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall.
Tomlin, C.D., 1991. "Cartographic Modeling," pp. 361–374. In *Geographical Information Systems:Principles and Applications,* M. Goodchild, D. Maguire, and D. Rhind, Eds., Harlow, Essex, UK: Longman Group Ltd.
Tomlin, C.D., 1990. *Geographic Information Systems and Cartographic Modeling.* Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall.
Tomlin, C.D., 1983. "An Introduction to the Map Analysis Package." *Proceedings,National Conference on Resource Management Applications: Energy and Environment,* August 22–26. San Francisco· pp 1–14.
Tomlin, C.D., and Berry, J.K., 1979. "A Mathematical Structure for Cartographic Modeling in Environmental Analysis," Proceedings, ACSM, Washington, D.C., March 18–24, pp. 269–284
Tomlin, C.D., and Johnston, K.M., 1991. "The ORPHEUS Land Use Allocation Model." *Journal of Cross-Disciplinary Exchange of Knowledge in the Geosciences* 3(3)10–13.
Tomlin, S.M., 1981. "Timber Harvest Scheduling and Spatial Allocation," master's thesis, Forest Science, Harvard University, Cambridge, MA.
van Deursen, W.P.A., 1995. "Geographical Information Systems and Dynamic Models: Development and Application of a Prototype Spatial Modelling Language." Doctoral dissertation, University of Utrecht, *NGS 190.*
Wang, L., 1999. "Projection Systems in Geographic Information Systems (GIS): Comparing Distortion Difference Between Map Projections," Abstracts, Association of American Geographers, Honolulu.
Watson, D.F., and Philip, G.P., 1985. "A Refinement of Inverse Distance Weighted Interpolation." *Geo-Processing* 2:315–327.
Wesseling, C.G., Karssenberg, D., Van Deursen, W.P.A., and Burrough, P.A., 1996. "Integrating Dynamic Environmental Models in GIS: The Development of a Dynamic Modelling Language." *Transactions in GIS* 1:40–48.
Williams, T.H.L., 1985. "Implementing LESA on a Geographic Information System—A Case Study." *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing* 51(12):1923–1932.
Wu, F., 1996. "A Linguistic Cellular Automata Simulation Approach for Sustainable Land Development in a Fast Growing Region." *Computers, Environments and Urban Systems* 20(6):367-387.
Yuan, M., 1994. Representation of Wildfire in Geographic Information Systems," Ph.D. Dissertation, State University of New York at Buffalo.
Yuan, M., 1997. "Use of Knowledge Acquisition to Build Wildfire Representation in Geographical Information Systems." *International Journal of Geographical Information Science* 11(8):723–745.
Zeff, I.S., 1991. A Cartographic Model for Land Use Planning in the U.S. Forest Service," Unpublished Master's Thesis, School of Natural Resources, The Ohio State University.



توثيق مصادر الصور

الشكل رقم (٥,٢). Eastcott/Momatiuk/The Image Works.

الشكل رقم (٥,٣). Gregory G. Dimijian/Photo Researchers.

الشكل رقم (٥,٤). Bruce Hands/The Image Works.

الشكل رقم (٥,٥). Dan Suzio/Photo Researchers.

الشكل رقم (٥,٦). François Gohier/Photo Researchers.

الشكل رقم (٥,٧). Bernhard Edmaier/Science Photo Library/Photo Researchers.

الشكل رقم (٥,٩). Christi Carter/Grant Heilman Photography.

الشكل رقم (٥,١٠). Larry Lefever/Grant Heilman Photography.

الشكل رقم (٥,١١). Graphic image supplied courtesy of Environmental Systems Research Institute, Inc.

الشكل رقم (٥,١٢). Rudolf Pigneter/Stone.

الشكل رقم (٥,١٥). Jim Steinberg/Photo Researchers.



ثبت المصطلحات

أولاً: عربي- إنجليزي



اتجاه الميل (واجهة الانحدار)	Aspect
اتجاه التدفق	Flow Direction
استقصاء المعلومات من البيانات	Data Mining
اشتقاق	Interpolation
أحواض (مائية)	Basins
أنماط وظيفية كامنة	Latent Functional Patterns
أعداد نسبية	Rational Numbers
الانحدار	Slope
اتجاه الميل (واجهة الانحدار)	Aspect
الارتباط الذاتي	Autocorrelation
الارتفاع	Elevation
الأنماط الوظيفيّة	Functional Patterns
الاستشعار عن بعد	Remote Sensing
الأنماط الجيومورفولوجية (أشكال سطح الأرض)	Geomorphological Patterns
الاقتصاد (لتقليل التكلفة بغرض رفع الكفاءة)	Parsimony
الاقتطاع الجزئي للبيانات (إحصاء)	Jacknifing

أعداد نسبية	Rational Numbers
أخطاء التدوير	Rounding Errors
الآلية الخلويّة	Cellular Automata (CA)

ب

بناء الإجماع	Consensus Building
بدائل البيانات	Data Surrogates
البرمجة الخطّيّة	Linear Programming
بانئ النماذج (برنامج)	Model Builder
البيانات الخلويّة	Raster Data
البنية التحتيّة للبيانات المكانيّة الوطنية (الأمريكية)	National Spatial Data Infrastructure (Nsdi)

ت

التدفق المتراكم	Accumulated Flow
التصوير الجوي	Aerial Photography
التصنيف	Classification
التمثيل الخرائطي الثنائي	Binary Mapping
تحليل التكتل	Cluster Analysis
ترميز البيانات الخلويّة	Coding Raster Data
التجزئة المقصورية	Compartmentalization
توافق استخدام الأرض	Compatibility Of Land Uses
تحويل البيانات	Conversion Of Data
التحقق الحقلي	Field Validation
تراكم التدفق	Flow Accumulation
تخطيط (رسم) بياني لسير العمل	Flowcharting
التدفق المسامي	Darcian Flow
التشتت الغاوسياني (الاعتدالي)	Gaussian Dispersion
تصور النموذج	Model Conceptualization

تنفيذ أو تطبيق النموذج	Model Implementation
التفريع التربيعي	Quadtrees
التوجه الهدفي	Object Orientation
تقسيم إلى وحدات أو أجزاء صغيرة	Quantization
تقسيمات فسيفسائية	Tessellations
تحليل السلسة الزمنية	Time Series Analysis
تحليل سطح الاتجاه العام	Trend Surface Analysis
تقييم الموقع	Site Assessment
تحليل حساسية التباين	Sensitivity Analysis
تحليل التراجع بين متغيرين أو أكثر (الانحدار)	Regression Analysis
ترتيب المجاري المائية	Stream Ordering
التقنيات أو الطرائق الإحصائيّة	Statistical Techniques
التصنيف غير المُراقب	Unsupervised Classification
التحقق (التثبت) من صلاحية النموذج	Validation Of Model
التحقق من دقة النموذج	Verification Of Model
تحليل الرؤية	Viewshed Analysis
تقسيم (الأراضي)	Zoning
التعارض المكاني	Spatial Conflict

ث

ثبات النموذج	Model Consistency

ج

جوارات مور	Moore Neighborhoods
الجبر الخرائطي	Map Algebra
جوارات	Neighborhoods
جمل الإسناد البرمجية في الجبر الخرائطي	Statements, In Map Algebra
جوارات فون نيومان	Von Neumann Neighborhoods

ح

حل التعارض	Conflict Resolution
الحقيقة الأرضية	Ground Truth
حاسبة خرائطية	Map Calculator
حفظ السجلات	Recordkeeping
حواسيب متقدمة جداً	Supercomputers
حدود حوض التصريف (خطوط تقسيم المياه)	Watersheds

خ

الخطأ	Error
خلايا الشبكة	Grid Cells
خريطة	Map
خطأ القياس	Measurement Error
خلية (بكسل) أو عنصورة	Pixel

د

درجة الوضوح	Resolution

ذ

الذكاء الاصطناعي	Artificial Intelligence

ر

الرسوم البيانية الخلويّة الرقميّة	Digital Raster Graphics (Drgs)

س

السطوح	Surfaces
سطح احتكاك	Friction Surface

ش

شبكات (خطّيّة)	Networks
شبكة المجاري المائية	Stream Networks
الشبكة المثلّثيّة غير المنتظمة	Triangulated Irregular Network (TIN)

ص

الصّحة	Accuracy
الصّحة الموقعية	Locational Accuracy
صياغة النموذج	Model Formulation

ض

ضبط (أو التحكم في) سير العمل	Flow Control
ضبط الجودة	Quality Control

ط

طبقة خرائطيّة	Cartographic Overlay
طريقة المركز (لترميز الخلية)	Centroid Method (Of Cell Encoding)
طريقة دلفي	Delphi Technique
طريقة النوع السائد (لترميز الخلية)	Dominant Type Method
طريقة ترميز الاتجاه	Directional Method

طريقة الكريغنغ لاشتقاق السطوح	Kriging
طريقة نسبة الظهور (لترميز الخلية)	Percent Occurrence Method
طريقة وجود مقابل غياب (للترميز الخلوي)	Presence/Absence Method
طريقة النوع الأكثر أهمية (لترميز الخلية)	Most Important Type Method
طريقة شريف (في تصنيف رتب المجاري)	Shreve Method
طريقة إسترالر (في تصنيف رتب المجاري)	Strahler Method

ع

عوامل	Factors
عدد كامل صحيح (غير كسري)	Integer
العوامل الرأسية	Vertical Factors

ق

القابلية الاقتصادية	Economic Viability
القيم الكسرية	Floating Point Values
قيمة مدى (أو عتبة) حدّيّة	Thresholding Limit Value
القياس الراديومتري (قياس عن بعد)	Radiotelemetry

ل

لغة الماكرو الصغيرة (المحدودة)	Small Macro Language (Sml)

م

المجال الإحداثي الكارتيزي	Cartesian Coordinate Space
مستجمعات (مائية)	Catchments
مقبولية النماذج	Acceptability Of Models

معامِلات	Operators
معامِلات حسابية	Arithmetic Operators
معامِلات غير مكانيّة (وصفيّة)	Aspatial Operators
معامِلات التخصيص	Assignment Operators
معامِلات تراكمية	Accumulative Operator
معامِلات بتّيّة	Bitwise Operators
معامِلات بوليانية	Boolean Operators
معامِلات إندماجية	Combinatorial Operators
معامِلات منطقيّة	Logical Operators
معامِلات علائقية	Relational Operators
مصفوفة	Matrix
مصفوفة الذخيرة المعلوماتية	Repertory Grid
مصفوفة تفاعل العوامل	Factor Interaction Matrix
مقطع جانبي لانحدار مقعر	Concave Slope Profile
المنطقة المساهمة	Contributing Area
مقطع جانبي لانحدار محدب	Convex Slope Profile
منهجيّة جمع العينة الحقلية	Field Sampling Methodology
مرشّحات	Filters
المنطق الهدبي	Fuzzy Logic
المنهجيّة الهرميّة	Hierarchical Approach
معاودَة (تكرار)	Iteration
المقياس الفاصلي (للبيانات)	Interval Scale
معلومات البيانات	Metadata
مقبولية النموذج	Model Acceptability
معايير الجوار	Neighborhood Criteria
المقياس الترتيبي (للبيانات)	Ordinal Scale
المقياس النسبي (للبيانات)	Ratio Scale
المعالجة الموازية أو المتزامنة	Parallel Processing

مسافة المسار	Path Distance
معايير الموقع	Site Criteria
معايير الحالة	Situation Criteria
المعايير القياسية لتحويل البيانات المكانيّة	Spatial Data Transfer Standards (SDTS)
منتج المعلومات المكانيّة	Spatial Information Product (SIP)
المجال (الفراغ) ثنائي البعد	Two-Dimensional Space
منهجيّة المصفوفة المتدرجة	Stepped Matrix Approach

ن

نمذجة التشتت التأفقية	Advective Dispersion Modeling
النماذج الخوارزمية	Algorithmic Models
النماذج التجزيئية	Atomistic Models
نموذج نظام معلومات جغرافيّة توليفي	Synthetic GIS Model
النمذجة الخرائطيّة	Cartographic Modeling
نموذج أورفيوس لتخصيص استخدام الأرض	Orpheus Land Use Allocation Model
نظم إدارة قواعد البيانات	Database Management Systems (DBMS)
نماذج تفكيكيّة	Deconstructive Models
نماذج استدلاليّة	Deductive Models
نماذج وصفيّة	Descriptive Models
نماذج حدية (قطعية)	Deterministic Models
نماذج موصِّفة	Prescriptive Models
نماذج الارتفاع الآلية أو الرقميّة	Digital Elevation Models (Dems)
نظم التصريف المائي	Drainage Systems
النمذجة الديناميكيّة (المتحركة)	Dynamic Modeling
النظم الخبيرة	Expert Systems
النموذج الخلوي الموسع (أو المطور)	Extended Raster Models
نماذج الحريق	Fire Models

نماذج التدفق	Flow Models
نظم المعلومات الجغرافيّة	Geographic Information Systems (Giss)
نمذجة نظم المعلومات الجغرافيّة	GIS Modeling
نظم التوقيع (أو التحديد) المكاني	Global Positioning Systems (GPS)
النماذج الموجِّهة (إرشادية)	Heuristic Models
النماذج الكلية أو الشاملة	Holistic Models
النموذج الاستقرائي	Inductive Model
نموذج تقييم الأرض وتقدير الموقع "ليسا"	LESA (Land Evaluation And Site Assessment)
النمذجة اللوجستية	Logit Modeling
نموذج سلسلة ماركوف	Markov Chain Model
نموذج أورفيوس (لتخصيص استخدام الأرض)	Orpheus Model
نمط	Pattern
نموذج نظام معلومات جغرافيّة تنبؤي	Predictive GIS Model
نموذج نظام معلومات جغرافيّة موصِّف	Prescriptive GIS Model
النمذجة الخلويّة بنظام المعلومات الجغرافيّة	Raster GIS Modeling
نظرية المتغير المُأقلم	Regionalized Variable Theory
نظم إدارة قواعد البيانات العلائقية	Relational Database Management Systems (RDBMS)
نظرية أخذ العينات	Sampling Theory
نظرية المجموعات	Set Theory
النموذج الخلوي البسيط	Simple Raster Model
نماذج عشوائية	Stochastic Models
النمذجة المكانيّة الزمانيّة	Temporospatial Modeling
النمذجة ثلاثية البعد	Three-Dimensional Modeling
النمذجة بنظام المعلومات الجغرافيّة الخطي	Vector GIS Modeling

هـ

هندسة المعرفة	Knowledge Engineering

الهدبية المثالية المزاحة	Displaced Fuzzy Ideal
هيئة المساحة الجيولوجية الأمريكية	U.S. Geological Survey

و

واجهة المستخدم البيانية التفاعليّة	Graphical User Interface (GUI)
الوظائف التركزيّة	Focal Functions
وظيفة (تنفيذ)	Function
الوظائف الأسّيّة	Exponential Functions
الوظائف الشموليّة	Global Functions
الوظائف المحليّة	Local Functions
الوظائف اللوغرائمية	Logarithmic Functions
الوظائف الشموليّة متعددة المتغيرات	Multivariate Global Functions
وظيفة حاسبة الجوار	Neighborhood Calculator Function
الوظائف الكتليّة	Block Functions
وظائف إعادة التصنيف	Reclassification Functions
وظائف الاختيار	Selection Functions
الوظائف الإحصائيّة	Statistical Functions
الوظائف السطحية	Surface Functions
الوظائف الحسابيّة المثلثية	Trigonometric Functions
الوظائف الشموليّة أحادية المتغير	Univariate Global Functions
وظائف المسافة الموزونة	Weighted Distance Functions
الوظائف النطاقيّة	Zonal Functions

ثانياً: إنجليزي – عربي

A

Acceptability Of Models	مقبولية النماذج
Accumulated Flow	التدفق المتراكم
Accumulative Operator	معامِلات تراكمية
Accuracy	الصّحة
Advective Dispersion Modeling	نمذجة التشتت التأفقية
Aerial Photography	التصوير الجوي
Algorithmic Models	النماذج الخوارزمية
Arithmetic Operators	معامِلات حسابية
Artificial Intelligence	الذكاء الإصطناعي
Aspatial Operators	معامِلات غير مكانيّة (وصفيّة)
Aspect	اتجاه الميل (واجهة الانحدار)
Aspect	اتجاه الميل (واجهة الانحدار)
Assignment Operators	معامِلات التخصيص
Atomistic Models	النماذج التجزيئية
Autocorrelation	الارتباط الذاتي

B

Basins	أحواض (مائية)
Binary Mapping	التمثيل الخرائطي الثنائي
Bitwise Operators	معامِلات بتّية
Block Functions	الوظائف الكتليّة
Boolean Operators	معامِلات بوليانية

C

Cartesian Coordinate Space	المجال الإحداثي الكارتيزي
Cartographic Modeling	النمذجة الخرائطيّة

Cartographic Overlay	طبقة خرائطيّة
Catchments	مستجمعات (مائية)
Cellular Automata (CA)	الآلية الخلويّة
Centroid Method (Of Cell Encoding)	طريقة المركز (لترميز الخلية)
Classification	التصنيف
Cluster Analysis	تحليل التكتل
Coding Raster Data	ترميز البيانات الخلويّة
Combinatorial Operators	معاملات إندماجية
Compartmentalization	التجزئة المقصورية
Compatibility Of Land Uses	توافق استخدام الأرض
Concave Slope Profile	مقطع جانبي لانحدار مقعر
Conflict Resolution	حل التعارض
Consensus Building	بناء الإجماع
Contributing Area	المنطقة المساهمة
Conversion Of Data	تحويل البيانات
Convex Slope Profile	مقطع جانبي لانحدار محدب

D

Darcian Flow	التدفق المسامي
Data Mining	استقصاء المعلومات من البيانات
Data Surrogates	بدائل البيانات
Database Management Systems (DBMS)	نظم إدارة قواعد البيانات
Deconstructive Models	نماذج تفكيكيّة
Deductive Models	نماذج استدلاليّة
Delphi Technique	طريقة دلفي
Descriptive Models	نماذج وصفيّة
Deterministic Models	نماذج حدية (قطعية)
Digital Elevation Models (Dems)	نماذج الارتفاع الآلية أو الرقميّة
Digital Raster Graphics (Drgs)	الرسوم البيانية الخلويّة الرقميّة

Directional Method	طريقة ترميز الاتجاه
Displaced Fuzzy Ideal	الهدبية المثالية المزاحة
Dominant Type Method	طريقة النوع السائد (لترميز الخلية)
Drainage Systems	نظم التصريف المائي
Dynamic Modeling	النمذجة الديناميكيّة (المتحركة)

Economic Viability	القابلية الاقتصادية
Elevation	الارتفاع
Error	الخطأ
Expert Systems	النظم الخبيرة
Exponential Functions	الوظائف الأسّيّة
Extended Raster Models	النموذج الخلوي الموسع (أو المطور)

Factor Interaction Matrix	مصفوفة تفاعل العوامل
Factors	عوامل
Field Sampling Methodology	منهجيّة جمع العينة الحقلية
Field Validation	التحقق الحقلي
Filters	مرشّحات
Fire Models	نماذج الحريق
Floating Point Values	القيم الكسرية
Flow Accumulation	تراكم التدفق
Flow Control	ضبط (أو التحكم في) سير العمل
Flow Direction	اتجاه التدفق
Flow Models	نماذج التدفق
Flowcharting	تخطيط (رسم) بياني لسير العمل
Focal Functions	الوظائف التركزيّة
Friction Surface	سطح احتكاك

وظيفة (تنفيذ)	Function
الأنماط الوظيفيّة	Functional Patterns
المنطق الهدبي	Fuzzy Logic

G

التشتت الغاوسياني (الاعتدالي)	Gaussian Dispersion
نظم المعلومات الجغرافيّة	Geographic Information Systems (Giss)
الأنماط الجيومورفولوجية (أشكال سطح الأرض)	Geomorphological Patterns
نمذجة نظم المعلومات الجغرافيّة	GIS Modeling
الوظائف الشموليّة	Global Functions
نظم التوقيع (أو التحديد) المكاني	Global Positioning Systems (GPS)
واجهة المستخدم البيانية التفاعليّة	Graphical User Interface (GUI)
خلايا الشبكة	Grid Cells
الحقيقة الأرضية	Ground Truth

H

النماذج الموجِّهة (إرشادية)	Heuristic Models
المنهجيّة الهرميّة	Hierarchical Approach
النماذج الكلية أو الشاملة	Holistic Models

I

النموذج الاستقرائي	Inductive Model
عدد كامل صحيح (غير كسري)	Integer
اشتقاق	Interpolation
المقياس الفاصلي (للبيانات)	Interval Scale
معاودَة (تكرار)	Iteration

J

الاقتطاع الجزئي للبيانات (إحصاء)	Jacknifing

K

هندسة المعرفة	Knowledge Engineering
طريقة الكريغنغ لاشتقاق السطوح	Kriging

L

أنماط وظيفية كامنة	Latent Functional Patterns
نموذج تقييم الأرض وتقدير الموقع "ليسا"	LESA (Land Evaluation And Site Assessment)
البرمجة الخطّيّة	Linear Programming
الوظائف المحليّة	Local Functions
الصّحة الموقعية	Locational Accuracy
الوظائف اللوغرائمية	Logarithmic Functions
معاملات منطقيّة	Logical Operators
النمذجة اللوجستية	Logit Modeling

M

خريطة	Map
الجبر الخرائطي	Map Algebra
حاسبة خرائطية	Map Calculator
نموذج سلسلة ماركوف	Markov Chain Model
مصفوفة	Matrix
خطأ القياس	Measurement Error
معلومات البيانات	Metadata
مقبولية النموذج	Model Acceptability
بانئ النماذج (برنامج)	Model Builder
تصور النموذج	Model Conceptualization
ثبات النموذج	Model Consistency
صياغة النموذج	Model Formulation
تنفيذ أو تطبيق النموذج	Model Implementation

Moore Neighborhoods	جوارات مور
Most Important Type Method	طريقة النوع الأكثر أهمية (لترميز الخلية)
Multivariate Global Functions	الوظائف الشموليّة متعددة المتغيرات

N

National Spatial Data Infrastructure (Nsdi)	البنية التحتيّة للبيانات المكانيّة الوطنية (الأمريكية)
Neighborhood Calculator Function	وظيفة حاسبة الجوار
Neighborhood Criteria	معايير الجوار
Neighborhoods	جوارات
Networks	شبكات (خطيّة)

O

Object Orientation	التوجه الهدفي
Operators	معاملات
Ordinal Scale	المقياس الترتيبي (للبيانات)
Orpheus Land Use Allocation Model	نموذج أورفيوس لتخصيص استخدام الأرض
Orpheus Model	نموذج أورفيوس (لتخصيص استخدام الأرض)

P

Parallel Processing	المعالجة الموازية أو المتزامنة
Parsimony	الاقتصاد (لتقليل التكلفة بغرض رفع الكفاءة)
Path Distance	مسافة المسار
Pattern	نمط
Percent Occurrence Method	طريقة نسبة الظهور (لترميز الخلية)
Pixel	خلية (بكسل) أو عنصورة
Predictive GIS Model	نموذج نظام معلومات جغرافيّة تنبؤي
Prescriptive GIS Model	نموذج نظام معلومات جغرافيّة موصِّف
Prescriptive Models	نماذج موصِّفة
Presence/Absence Method	طريقة وجود مقابل غياب (للترميز الخلوي)

Q

Quadtrees	التفريع التربيعي
Quality Control	ضبط الجودة
Quantization	تقسيم إلى وحدات أو أجزاء صغيرة

R

Radiotelemetry	القياس الراديومتري (قياس عن بعد)
Raster Data	البيانات الخلويّة
Raster GIS Modeling	النمذجة الخلويّة بنظام المعلومات الجغرافيّة
Ratio Scale	المقياس النسبي (للبيانات)
Rational Numbers	أعداد نسبية
Rational Numbers	أعداد نسبية
Reclassification Functions	وظائف إعادة التصنيف
Recordkeeping	حفظ السجلات
Regionalized Variable Theory	نظرية المتغير المُأقلم
Regression Analysis	تحليل التراجع بين متغيرين أو أكثر (الانحدار)
Relational Database Management Systems (RDBMS)	نظم إدارة قواعد البيانات العلائقية
Relational Operators	معاملات علائقية
Remote Sensing	الاستشعار عن بعد
Repertory Grid	مصفوفة الذخيرة المعلوماتية
Resolution	درجة الوضوح
Rounding Errors	أخطاء التدوير

S

Sampling Theory	نظرية أخذ العينات
Selection Functions	وظائف الاختيار
Sensitivity Analysis	تحليل حساسية التباين
Set Theory	نظرية المجموعات

طريقة شريف (في تصنيف رتب المجاري)	Shreve Method
النموذج الخلوي البسيط	Simple Raster Model
تقييم الموقع	Site Assessment
معايير الموقع	Site Criteria
معايير الحالة	Situation Criteria
الانحدار	Slope
لغة الماكرو الصغيرة (المحدودة)	Small Macro Language (Sml)
التعارض المكاني	Spatial Conflict
المعايير القياسية لتحويل البيانات المكانيّة	Spatial Data Transfer Standards (SDTS)
منتج المعلومات المكانيّة	Spatial Information Product (SIP)
جمل الإسناد البرمجية في الجبر الخرائطي	Statements, In Map Algebra
الوظائف الإحصائيّة	Statistical Functions
التقنيات أو الطرائق الإحصائيّة	Statistical Techniques
منهجيّة المصفوفة المتدرجة	Stepped Matrix Approach
نماذج عشوائية	Stochastic Models
طريقة إسترالر (في تصنيف رتب المجاري)	Strahler Method
شبكة المجاري المائية	Stream Networks
ترتيب المجاري المائية	Stream Ordering
حواسيب متقدمة جداً	Supercomputers
الوظائف السطحية	Surface Functions
السطوح	Surfaces
نموذج نظام معلومات جغرافيّة توليفي	Synthetic GIS Model

T

النمذجة المكانيّة الزمانيّة	Temporospatial Modeling
تقسيمات فسيفسائية	Tessellations
النمذجة ثلاثية البعد	Three-Dimensional Modeling
قيمة مدى (أو عتبة) حدّيّة	Thresholding Limit Value
تحليل السلسة الزمنية	Time Series Analysis

Trend Surface Analysis	تحليل سطح الاتجاه العام
Triangulated Irregular Network (TIN)	الشبكة المثلّثيّة غير المنتظمة
Trigonometric Functions	الوظائف الحسابيّة المثلثية
Two-Dimensional Space	المجال (الفراغ) ثنائي البعد

U

U.S. Geological Survey	هيئة المساحة الجيولوجية الأمريكية
Univariate Global Functions	الوظائف الشموليّة أحادية المتغير
Unsupervised Classification	التصنيف غير المُراقب

V

Validation Of Model	التحقق (التثبت) من صلاحية النموذج
Vector GIS Modeling	النمذجة بنظام المعلومات الجغرافيّة الخطي
Verification Of Model	التحقق من دقة النموذج
Vertical Factors	العوامل الرأسية
Viewshed Analysis	تحليل الرؤية
Von Neumann Neighborhoods	جوارات فون نيومان

W

Watersheds	حدود حوض التصريف (خطوط تقسيم المياه)
Weighted Distance Functions	وظائف المسافة الموزونة

Z

Zonal Functions	الوظائف النطاقيّة
Zoning	تقسيم (الأراضي)

كشاف الموضوعات

ن



السيرة الذاتية للمترجم

- د. علي معاضه عبدالله الغامدي.
- أستاذ بجامعة الملك سعود، قسم الجغرافيا، كلية الآداب.
- حصل على الدكتوراة من جامعة ليستر ببريطانيا عام ١٩٩٨م في خرائط الحاسب الآلي ونظم المعلومات الجغرافية، والماجستير من جامعة دبلن، ودبلوم عالي في الخرائط من جامعة جلاسجو - أسكتلنده.
- له العديد من البحوث في مجال الخرائط ونظم المعلومات الجغرافية.
- يشرف على العديد من طلاب وطالبات الدراسات العليا في نفس المجال.
- عمل مستشارا للأمانة العامة للسياحة والآثار مع بداية مشروع إنشاء قاعدة بيانات جغرافية سياحية مركزية للمملكة العربية السعودية وحتى الانتهاء من المشروع.
- شارك في تنفيذ بعض الأبحاث والمشاريع المشتركة.
- قدم عددا من الاقتراحات والمشاريع لعدد من الهيئات والوزارات في المملكة العربية السعودية.
- حضر العديد من المؤتمرات المحلية والعالمية وشارك في بعضها.
- التحق بدورات محلية وخارجية مختلفة في مجال نظم المعلومات الجغرافية وشارك في تقديم بعضها.
- عضو في العديد من اللجان سواء على مستوى القسم أو الكلية.

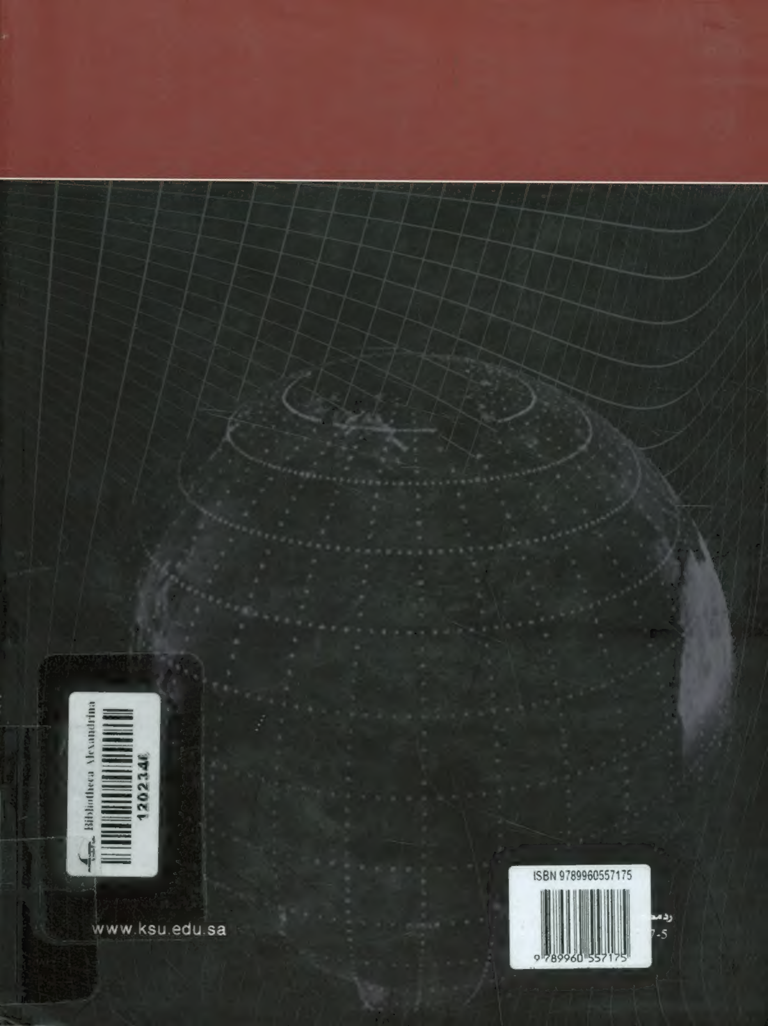
ملخص لكتاب: النمذجة الخلوية في نظم المعلومات الجغرافية

تأليف: د. مايكل ديمرس

ترجمة: أ.د. علي معاضه الغامدي

أحدثت التقنيات الجغرافية وفي مقدمتها نظم المعلومات الجغرافية ما يشبه الثورة في تحليل الواقع الجغرافي. بل خلقت مفاهيم جديدة، وشجّعت على إعادة النظر في المفاهيم السابقة، وقدّمت طرائق مختلفة جعلت من البيانات مادة معلوماتية أكثر عمقا وإمتاعا من السابق. ولا زالت في تطور مستمر. ولأن هذا الكتاب يعدّ كتابا متميزا في تناوله لنمذجة الظواهر الجغرافية بنظم المعلومات الجغرافية الخلوية (Raster GIS)، ومرجعا مفيدا جدا للمهتمين بالنمذجة، أيا كانت مستوياتهم وخلفياتهم العلمية، فإني لم أجد أفضل منه لترجمته للعربية ليكون مرجعا عربيا مهما خاصة للباحثين والمطبقين في نظم المعلومات الجغرافية. ولعل هذا الكتاب بما شمله من معلومات أساسية وأمثلة متعددة يشجع الباحثين، خاصة طلاب وطالبات الدراسات العليا، في الوطن العربي بالذات في تطبيق نظم المعلومات الجغرافية الخلوية على نطاق واسع والاستعانة بهذه التقنية في حل كثير من المشكلات المرتبطة بالمكان. ولقد ركّز الكتاب على النمذجة من جميع الجوانب مفهوما وتطبيقا، وبيّن بجلاء أن هدف عملية النمذجة هو أن تكون عونا وأداة فعالة لصنع القرار، وهذا يعني أنها ستفيد صانع القرار متى ما أُستكلمت جوانبها، والعكس صحيح. فبيّن المؤلف أساليب النمذجة وأنواعها وخطواتها وتسلسلها وأخيرا التحقق منها، بل بيّن كثيرا من مميزاتها، بالإضافة إلى أوجه القصور فيها.

لقد اشتمل الكتاب على تسعة فصول، تناول الفصل الأول مقدمة عامة عن فكرة النمذجة بنظم المعلومات الجغرافية، أما الفصل الثاني فتناول طبيعة البيانات الجغرافية الخلوية ونماذجها، وفي الفصل الثالث ركز الكتاب على مفهوم الجبر الخرائطي، وتناول الفصل الرابع أنواع الوظائف التحليلية الخلوية، وفي الفصل الخامس كان التركيز على أسس النمذجة وأنواع النماذج التحليلية، أما الفصل السادس فتناول مفهوم تصور النماذج، في حين بحث الفصل السابع في صياغة النماذج ورسم سير مخططاتها التنفيذية، أما الفصل الثامن فتناول موضوع حل التعارضات المكانية أثناء النمذجة، أما الفصل التاسع فتناول موضوع التحقق من النماذج والتأكد من صلاحيتها وقبولها.


Bibliotheca Alexandrina
1202346
www.ksu.edu.sa
ISBN 9789960557175
9 789960 557175